

УДК 537.876.23

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ПРОВОДЯЩИМИ МИКРОВОКЛЮЧЕНИЯМИ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

М.А.Щерба,

**Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
ул. Политехническая, 37, Киев, 03056, Украина.**

Исследованы электрические силы, возникающие между двумя близко расположенными проводящими микровключениями во внешнем электрическом поле. Обосновано, что в результате взаимодействия зарядов разного знака на близко расположенных выпуклых поверхностях разных проводящих включений увеличивается концентрация поверхностных зарядов возле наиболее близко расположенных точек таких поверхностей. При этом электрическое поле в диэлектрическом промежутке между такими поверхностями и взаимодействие между включениями усиливаются. Более того, несмотря на равенство нулю суммарного заряда каждого включения, на него будет действовать результирующая сила, направленная в сторону второго включения и увеличивающаяся по закону степенной функции с уменьшением расстояния между включениями. Библиограф. 3, рис. 1.

Ключевые слова: электрическое поле, напряженность, поверхностный заряд, сила, диэлектрическая среда, проводящее включение.

В диэлектрическом промежутке между близко расположенными проводящими включениями наблюдается локальное усиление внешнего электрического поля (ЭП) [3]. С уменьшением расстояния l между поверхностями включений, максимальная величина напряженности поля E_{max} в таком промежутке возрастает по закону степенной функции. В работе [3] обосновано, что такое усиление ЭП возникает вследствие повышения плотности поверхностных электрических зарядов σ в локальных областях возле наиболее близко расположенных точек поверхностей разных включений, которое при неизменных размерах включений и уменьшении расстояния l между ними также увеличивается по закону степенной функции. Таким образом, можно сделать вывод, что при близком расположении двух токопроводящих включений возникает дополнительный характерный размерный параметр, влияющий на максимальную напряженность поля и на его распределение в среде, – это расстояние между такими включениями.

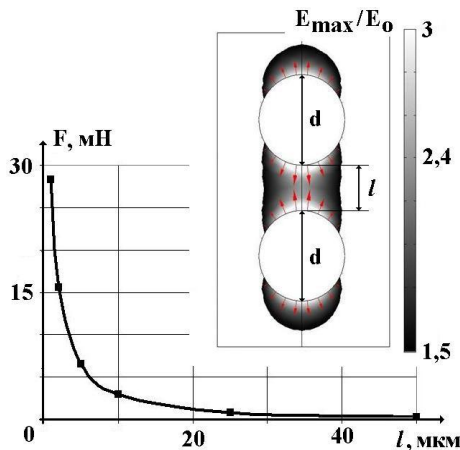
Для одиночного проводящего включения во внешнем электрическом поле на его противоположные стороны действуют электрические силы, равные по величине и противоположно направленные; они компенсируют друг друга, и суммарная сила, действующая на включение, равна нулю. Это происходит потому, что распределение электрических зарядов разных знаков по поверхности одиночного включения является симметричным относительно плоскости, перпендикулярной направлению ЭП. Ранее не рассматривались электрические силы, действующие на совокупность двух близко расположенных микровключений (т.е. таких включений, расстояния между которыми меньше их диаметров). Поэтому в данной работе было проведено исследование закономерностей изменения силового взаимодействия между близко расположенными проводящими микровключениями при изменении расстояний между ними.

Физико-математическая постановка задачи формулировалась, как и в работе [3], в квазиэлектростатической постановке. Численный расчет ЭП проводился с использованием пакета прикладных программ Comsol Multiphysic.

Анализ полученных результатов. Если условно разбить поверхность сферического микровключения на две половины плоскостью, перпендикулярной направлению силовых линий поля, то на поверхности одной полусферы распределен отрицательный заряд, а на поверхности другой – положительный. В результате проведенного численного эксперимента для близко расположенных включений показано, что распределение поверхностного заряда является не симметричным относительно плоскости условного раздела. Наблюдается повышение плотности поверхностного заряда σ на наиболее близких друг к другу поверхностях включений.

На диаграмме рисунка показано распределение напряженности ЭП возле микровключений, где тонированные области соответствуют областям повышенной напряженности поля. Стрелками показаны направления и величины электрических сил, возникающих между включениями.

Рассчитанные электрические силы, действующие на полусферы каждого включения, будут разными по величине, и результирующая сила, действующая на каждое включение, будет отличной от нуля и направлена в сторону другого включения. Таким образом, близко расположенные водные микровключения притягиваются друг к другу, и при превышении величины электрической силы некоего порогового значения может наблюдаться



ся изменение их формы (проявляющееся в увеличении размера включения вдоль поля и уменьшении размеров в перпендикулярных направлениях). Если возможно изменение формы включений, то силовое взаимодействие между ними будет увеличиваться, реализуя положительную обратную связь, способствующую объединению включений в тонкие структуры типа водных дендритов. Возможность перемещения водных микровключений одновременно с увеличением результирующей силы на каждое включение, направленной в сторону другого включения, будет только усиливать указанный электрофизический механизм, поясняющий развитие водных дендритов в неоднородных электрических полях при наличии близко расположенных водных микровключений.

Выводы. Для близко расположенных проводящих микровключений несимметричное распределение плотности их поверхностного заряда приводит к усилению электрического поля в диэлектрическом промежутке между ними и увеличению электрической силы взаимного притяжения включений друг к другу. По мере уменьшения расстояния между включениями такая сила увеличивается по закону степенной функции.

Если близко расположенные водные микровключения взаимно притягиваются настолько, что может возникнуть увеличение их размеров вдоль поля с уменьшением размеров в перпендикулярных направлениях, то силовое взаимодействие между ними будет увеличиваться, реализуя положительную обратную связь, способствующую объединению включений в тонкие структуры типа водных дендритов.

Возможность перемещения водных микровключений одновременно с увеличением результирующей силы на каждое включение, направленной в сторону другого включения, будет только усиливать указанный электрофизический механизм, поясняющий развитие водных дендритов в неоднородных электрических полях при наличии близко расположенных водных микровключений.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1980. – 560 с.
2. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Золотарев В.М. Электрический транспорт полярных молекул воды в неоднородном электрическом поле полимерной изоляции высоковольтных кабелей // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 5. – С. 3–9.
3. Щерба М.А., Подольцев А.Д. Усиление электрического поля в диэлектрическом промежутке между проводящими включениями // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 12–17.

УДК 537.876.23

СИЛОВА ВЗАЄМОДІЯ МІЖ БЛИЗЬКО РОЗТАШОВАНИМИ ПРОВІДНИМИ МІКРОВКЛЮЧЕННЯМИ В ДІЕЛЕКТРИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ У ЗОВНІШНЬОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

М.А.Щерба,

**Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
вул. Політехнічна, 37, Київ, 03056, Україна.**

Досліджено електричні сили, що виникають між двома близько розташованими провідними микровключеннями у зовнішньому електричному полі. Обґрунтовано, що у результаті взаємодії зарядів різного знаку на близько розташованих опуклих поверхнях різних провідних включень зростає концентрація поверхневих зарядів біля найбільш близько розташованих точок таких поверхонь. При цьому електричне поле у діелектричному проміжку між поверхнями і взаємодія між включеннями посилюються. Більш того, не дивлячись на рівність нулю сумарного заряду кожного включення, на нього буде діяти результуюча сила, направлена у напрямку другого включення і зростаюча за законом степенної функції при зменшенні відстані між ними. Бібл. 3, рис. 1.

Ключові слова: електричне поле, напруженість, поверхневий заряд, сила, діелектричне середовище, провідне включення.

THE FORCE INTERACTION BETWEEN CLOSE PLACED CONDUCTING MICROINCLUSIONS IN DIELECTRIC MEDIUM UNDER THE EXTERNAL ELECTRIC FIELD

M.A. Shcherba,

**National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”,
Politekhnichna str., 37, Kiev-56, 03056, Ukraine.**

The electrical forces arising from two closely located conducting micro-inclusions in an external electric field are studied. It is proved that the interaction of charges with opposite polarity on closely located convex surfaces of different conducting inclusions results in increasing of concentration of surface charges near the most closely located points of such surfaces. In this connection the electric field in the dielectric gap between these surfaces and the interaction between the inclusions are amplified. Moreover, despite of equality to zero total charge of each inclusion, the resultant force directed towards the second inclusion will act on it and this force will be increased according to the law-power function with decreasing distance between the inclusions. References 3, figure 1.

Keywords: electric field, intensity, surface charge, dielectric medium, conducting inclusion, dendrite.

1. Landau L.D., Lifshits E.M. Electrodynamics of continuums. – Moskva: Nauka, 1980. – 560 p. (Rus)
2. Shcherba A.A., Podoltsev A.D., Kucheriavaia I.N., Zolotarev V.M. The transport of polar water molecules in heterogeneous electric field in polymer high voltage cable insulation // Tekhnichna elektrodynamika. – 2010. – № 5. – Pp. 3–9. (Rus)
3. Shcherba M.A., Podoltsev A.D. The electric field intensification in dielectric space between conducting inclusions // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – № 5. – Pp. 12–17. (Rus)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012