

ПОЛЯРИЗАЦИЯ МОНОСЛОЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯТОРА

© 2008 Н.В.Ерёмина¹, Н.С.Костюков²

¹ Институт геологии и природопользования
Дальневосточного отделения РАН, г. Благовещенск

² Научно-исследовательский институт наукоемких технологий
Амурского государственного университета, г. Благовещенск

В работе рассматривается модель поляризации воды, закреплённой на поверхности твёрдого тела ионами кислорода и водорода.

Введение

Задача настоящей статьи – показать зависимость электрофизических свойств пленки воды на поверхности от свойств материала изолятора и влияние их на разрядные характеристики.

Расчет разрядных характеристик изоляторов проводится по эмпирическим формулам с использованием поправочных коэффициентов на давление, температуру и влажность воздуха [1]. Отмечается, что имеющиеся в литературе противоречивые сведения о поведении изоляторов при высокой относительной влажности настоятельно требуют получения более достоверных поправочных коэффициентов на влажность воздуха и изучения механизма взаимодействия влаги с поверхностью изолятора. Обычно изучается влияние проводимости воды на разрядные характеристики изоляторов [2,3] при их увлажнении, и ее диэлектрическая проницаемость, т.е. емкость пленки воды не учитывается.

Заметный вклад в электропроводность изоляторов, в частности стеклянных, вносит поверхностная проводимость, сильно зависящая от адсорбированной водяной пленки. Хотя электропроводность стекол носит в основном ионный характер, однако имеются стекла с преимущественно электронной проводимостью (содержащие окислы ванадия, молибдена и др.). Поверхностная проводимость стекол резко возрастает во влажной атмосфере из-за адсорбции влаги. Значительный интерес для электротехники и радиотехники представляют слабощелочные, бесщелочные, кварцевые и электровакуумные стекла.

Избыточная поверхностная проводи-

мость стекла изменяется в широких пределах в зависимости от характера обработки поверхности и состава окружающей среды вследствие химического и физического взаимодействия поверхности слоя с окружающей атмосферой, а также процессов окисления поверхности. Поверхностный ток утечки на практике часто зависит не столько от свойств самого диэлектрика, сколько от состояния его поверхности: степени увлажнения и загрязнения. У материалов, смачиваемых водой, к каковым относится большинство твердых диэлектриков (в т.ч. стекло), поверхностная проводимость сильно увеличивается с ростом относительной влажности окружающего воздуха за счет образования пленки воды, адсорбированной поверхностью. Чем больше относительная влажность, тем толще пленка воды. Наличие на поверхности диэлектрика загрязнений под действием воды приводит к образованию пленки с большой электрической проводимостью.

Опыт эксплуатации линий электропередачи показывает, что перекрытие изоляторов происходит и при рабочем напряжении в условиях высокой влажности воздуха, при тумане, морозящем дожде и при выпадении на поверхности загрязненных изоляторов росы. Поэтому изучение влияния высокой влажности воздуха на напряжение перекрытия изоляторов имеет большое практическое значение.

На поверхности диэлектрика под действием поля происходит перемещение зарядов, что приводит к нарушению однородности поля [4]. Таким образом, перекрытие твердого диэлектрика при высокой влажности происходит уже в неоднородном поле. При частоте 50 Гц дли-

тельный процесс перезарядки поверхности успевает развиваться. При больших частотах (10⁵ Гц и более) и воздействии импульсных напряжений процесс перезарядки поверхности практически отсутствует. Поэтому при таких условиях напряжение перекрытия не зависит от относительной влажности воздуха.

Высоковольтные изоляторы в большинстве случаев находятся в эксплуатации в среде окружающего воздуха или жидкого диэлектрика. Поэтому электрические процессы на поверхности изоляционных конструкций в сильных полях определяются электрической прочностью окружающего их диэлектрика.

При приложении к изолятору электрического напряжения на его поверхности могут возникать локальная ионизация (частичные разряды), скользящие разряды и полное поверхностное перекрытие. Поверхностное перекрытие изолятора представляет собой пробой окружающего изолятор воздуха, протекающий в особых условиях, обусловленных присутствием в электрическом поле материала изолятора.

Изучение физической сущности явления поверхностного перекрытия и установление его закономерностей производятся в однородном электрическом поле. Установлены зависимости напряжения перекрытия от длины разрядного промежутка цилиндрических образцов, изготовленных из различных материалов, при частоте 50 Гц и относительной влажности 65-80% при 20°С. Экспериментальные данные указывают на влияние диэлектрической проницаемости твердого диэлектрика на напряжение перекрытия. С увеличением диэлектрической проницаемости напряжение перекрытия твердых диэлектриков уменьшается.

Проходной изолятор можно представить как цилиндрический конденсатор с внутренним и наружным радиусами. Теплер нашел основные закономерности развития разрядов на поверхности проходного изолятора [5].

Для проходного изолятора напряжение возникновения коронного U_k и скользящего U_{ck} разряда определяются по формулам:

$$U_k = 6,75 \cdot 10^{-2} \cdot \left[\frac{d}{\varepsilon} \right]^{0,45};$$

$$U_{ck} = 0,59 \left[\frac{d}{\varepsilon} \right]^{0,45},$$

где d – толщина стенки проходного изолятора, ε – диэлектрическая проницаемость поверхностного слоя. Так как толщина стенки изолятора не зависит от влажности, то зависимость разрядных характеристик для определенной конструкции определяется зависимостью диэлектрической проницаемости поверхностного слоя от влажности.

Обычно поверхность стекла, а, следовательно, можно полагать, и фарфора, покрыта слоем влаги не превышающем мономолекулярного при относительной влажности не превышающей 60%. При дальнейшем повышении влажности толщина пленки может достигать 100 молекулярных слоев (рис. 1) и более [6].

Поляризация свободных молекул воды и частотная зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь рассмотрены в [7, 8], с точки зрения теории вынужденных колебаний и были получены значения близкие к экспериментальным (в области УФ - частот - $\varepsilon' = 2,055$; в ИК - области - $\varepsilon' = 5,42$, при частотах $\sim 10^{11}$ Гц с учетом образования ассоциатов из 5 молекул - $\varepsilon' = 92,62$). Рассматривались свободные молекулы воды не связанные с поверхностью твердых тел, и имела место дипольная поляризация.

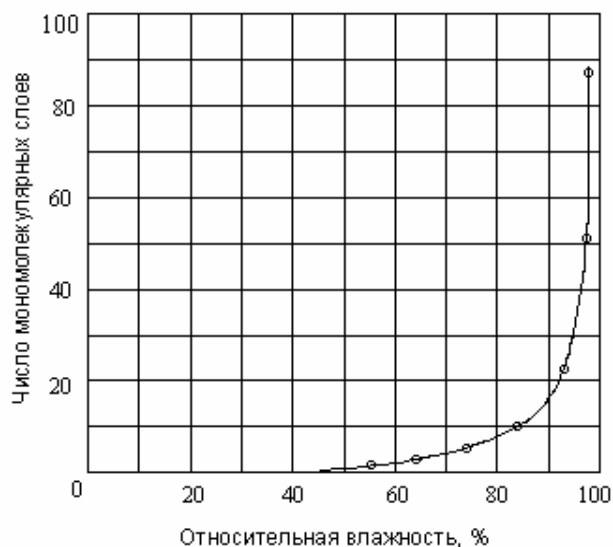


Рис. 1. Зависимость числа молекулярных слоев воды, адсорбированных на стекле, от относительной влажности [6]

Различные случаи закрепления молекулы воды на поверхности

Уровни изоляции определяются разрядными характеристиками изоляторов, которые, в свою очередь, зависят от свойств проводящего слоя, образующегося на поверхности. Параметры этого слоя зависят от загрязненности атмосферы в данном районе, т. е. от количества аэрозолей, их физических и химических свойств, а также от метеорологических условий, в первую очередь, от вида, интенсивности и количества увлажнений. Накопление слоя загрязнения на изоляторе, распределение вещества по его поверхности и физико-химические свойства вещества, в частности содержание в нем ионообразующих примесей, также непрерывно меняются. Это происходит под влиянием факторов, определяющих осаждение и закрепление аэрозолей на поверхности.

Образование проводящего слоя на поверхности изолятора является сложным процессом, конечный результат которого зависит как от свойств твердого вещества, накопившегося на поверхности, так и от физико-химических свойств осаждающейся на изолятор влаги. В связи с существенным изменением характеристик поверхностного слоя изоляторов меняются и разрядные характеристики.

Возьмем самую простую модель – твердый стержень, концы которого несут соответственно “положительный” и “отрицательный” заряды (диполь). Эта модель отражает очень важное свойство – молекула воды полярна, она обладает постоянным дипольным моментом. Иначе предполагаем, что имеется жесткий диполь. Очевидно, что молекулы будут ориентироваться так, что к катионам молекула воды предпочтительно ориентируется отрицательным концом, к анионам – положительным, т.е. возможны следующие варианты ее закрепления на поверхности твердого тела: молекула закреплена атомом кислорода, закреплена атомами водорода.

Рассмотрим случай, когда молекула воды закреплена на поверхности твердого тела ионом кислорода (рис. 2).

При отсутствии внешнего электрического поля молекула принимает положение равновесия, описываемое углом θ_i между направлением постоянного дипольного момен-

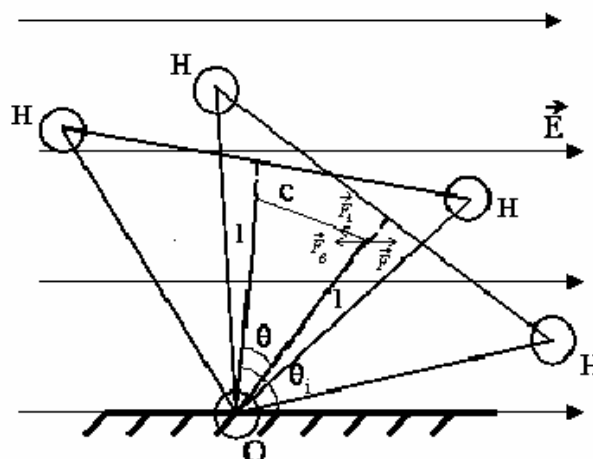


Рис. 2. Движение молекулы воды, закрепленной на поверхности атомом кислорода

та молекулы μ_0 и направлением внешнего поля. Под воздействием внешнего однородного электрического поля E , диполь поворачивается на угол θ относительно равновесного положения. При этом появляется вращающий момент: $M = \mu_0 E \sin(\theta_i - \theta)$.

Молекула будет находиться в равновесии, когда вращающий момент внешнего электрического поля равен вращающему моменту квазиупругой силы, стремящейся вернуть диполь в исходное состояние: $\mu_0 F \sin \theta = \mu_0 E \sin(\theta_i - \theta)$ (рис.2).

Проекция дипольного момента на направление действия поля до поворота диполя составляла $\mu_0 \cos \theta_i$, а после поворота – $\mu_0 \cos(\theta_i - \theta)$ (рис.3).

В отсутствии внешнего электрического поля постоянные дипольные моменты молекул воды разориентированы так, что суммарный дипольный момент диэлектрика равен нулю. Во внешнем поле дипольный момент

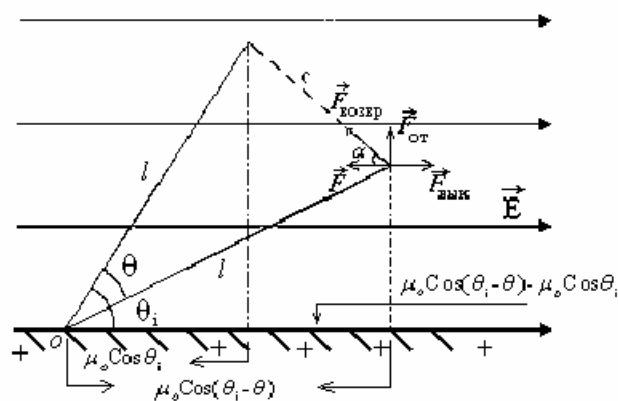


Рис. 3. Движение диполя молекулы воды, закрепленной на поверхности твердого тела атомом кислорода

в направлении поля будет отличен от нуля:

$$\mu = \mu_0 \cos(\theta_i - \theta) - \mu_0 \cos\theta_i. \quad (1)$$

Если внешнее электрическое поле носит переменный характер, то молекула будет совершать вынужденные колебания, описываемые дифференциальным уравнением второго порядка, в котором, в качестве обобщенной координаты взят угол θ [7, 8, 9]:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \beta \frac{d\theta}{dt} + kc = Fl, \quad (2)$$

где I – момент инерции относительно точки закрепления оси вращения молекулы, β – коэффициент, характеризующий внутреннее трение (для жидкости – вязкость), kc – момент квазиупругой силы, c – смещение диполя под действием вынуждающей силы, ℓ – длина диполя.

В состоянии равновесия вынуждающую силу и смещение можно записать (рис. 3):

$$F = F_1 \cos\alpha,$$

где $F_1 = qE = qE_0 e^{i\omega t}$, $F = qE_0 e^{i\omega t} \cos\alpha$,
 $c = 2l \sin \frac{\theta}{2}$.

Учитывая, что угол θ мал, после очевидных преобразований и упрощений, уравнение (2) примет вид:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2b \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2 \theta = F_0 e^{i\omega t} \left(\sin\theta_i - \frac{\theta}{2} \cos\theta_i \right). \quad (3)$$

Это уравнение описывает вынужденные колебания молекулы воды, закрепленной на поверхности твердого тела ионом кислорода,

где $\frac{\beta}{I} = 2b$ – коэффициент затухания,

$\frac{kl}{I} = \omega_0^2$ – частота собственных колебаний молекулы, $ql = \mu_0$ – постоянный дипольный момент,

$$\frac{\mu_0 E_0}{I} = F_0.$$

Для вычисления момента инерции I молекулы воды, закрепленной кислородом, воспользуемся теоремой Штейнера:

$$I = I_0 + mR^2, \quad (4),$$

где $m = 29,89 \cdot 10^{-27}$ кг – масса молекулы воды;

$I_0 = 2,9376 \cdot 10^{-47}$ кг·м² – значение момента инерции молекулы воды относительно оси, проходящей через центр инерции;

$R = 6,5 \cdot 10^{-12}$ м – расстояние между осью, проходящей через центр инерции свободной молекулы и осью, проходящей через центр закрепления молекулы атомом кислорода.

Подставив данные значения в формулу (4), получим момент инерции молекулы воды, закрепленной атомом кислорода:

$$I = 3,0639 \cdot 10^{-47} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Решением уравнения (3) относительно θ , является комплексное выражение:

$$\theta = F_0 \sin\theta_i \left[\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4b^2 \omega^2} - i \frac{2b\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4b^2 \omega^2} \right]. \quad (5)$$

После подстановки (5) в (1) получим выражения для действительной и мнимой части дипольного момента при малом угле

отклонения. Так как $\alpha = \frac{\bar{\mu}}{E}$, то значения действительной и мнимой частей поляризуемости примут вид:

$$\alpha' = \frac{\mu_0^2}{2I} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4b^2 \omega^2};$$

$$\alpha'' = \frac{\mu_0^2}{I} \frac{b\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4b^2 \omega^2}. \quad (6)$$

Зависимость поляризуемости молекулы воды в свободном состоянии от соотношения величин b и ω_0 рассмотрена в работе [8, 9].

При постоянном напряжении, когда $\omega = 0$ поляризуемость принимает постоянное значение

$$\alpha' = \frac{\mu_0^2}{2I\omega_0^2}, \quad (7)$$

а диэлектрические потери отсутствуют.

В переменном поле, когда $\omega \ll \omega_0$, действительная часть поляризуемости остается

постоянной $\alpha' = \frac{\mu_0^2}{2I\omega_0^2}$, а потери возрастают

с ростом частоты $\alpha'' = \frac{\mu_0^2 b \omega}{I\omega_0^4}$.

В области дисперсии, когда $\omega \sim \omega_0$, $b \ll \omega_0$, $\omega_0 - \omega = \Delta\omega$, поляризуемость

$$\alpha' = \frac{\mu_0^2 \Delta\omega}{4I\omega_0(\Delta\omega^2 + b^2)},$$

а потери

$$\alpha'' = \frac{\mu_0^2 b}{4I\omega_0(\Delta\omega^2 + b^2)}.$$

Упругие виды внутримолекулярной поляризации при закреплении ионами кислорода и водорода не отличаются от свободной молекулы. Высокочастотная диэлектрическая проницаемость закреплённой молекулы воды $\epsilon' = 3,257$

Рассматривая молекулу воды в целом как диполь, закреплённый на поверхности, будем считать, что молекула совершает под действием электрического поля либрационные и трансляционные колебания. Частота этих колебаний равна $\omega_{01} = 1,2905 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$, $\omega_{02} = 4,0035 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$, $\omega_{03} = 0,3636 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$ [10]. Поляризуемость на этих частотах имеет соответствующие значения: $\alpha'_1 = 3,752 \cdot 10^{-41} \Phi_M^2$, $\alpha'_2 = 0,3899 \cdot 10^{-41} \Phi_M^2$, $\alpha'_3 = 4,7268 \cdot 10^{-40} \Phi_M^2$. Диэлектрическая проницаемость в области дипольной поляризации с учетом электронной, ионной, дипольной упругих поляризаций равна:

$$\epsilon'_\infty = \epsilon'_e + \epsilon'_u + \frac{2n(\alpha'_1 + \alpha'_2 + \alpha'_3)}{3\epsilon_0} = 4,548$$

(для молекулы воды в свободном состоянии $\epsilon' = 8,57$ [8]).

На собственной частоте колебаний молекулы воды $\omega_{04} = 1,579 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$ значение поляризуемости вычисляется по формуле

$$\alpha'_4 = \frac{\mu_0^2}{2I\omega_{09}^2},$$

где $I = 3,0639 \cdot 10^{-47} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции молекулы воды, закреплённой на поверхности тела ионом кислорода. Тогда $\alpha'_4 = 2,5 \cdot 10^{-39} \Phi_M^2$

Значение диэлектрической проницаемости в этой области вычислим по формуле:

$$\Delta\epsilon = \frac{2n_0\alpha'_4}{3\epsilon_0} = \frac{2 \cdot 3,34 \cdot 10^{28} \cdot 2,5 \cdot 10^{-39}}{3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 6,29.$$

С учетом $\Delta\epsilon$ высокочастотная диэлектрическая проницаемость молекулы воды, закреплённой атомом кислорода на поверхности твердого тела, соответствует значению: $\epsilon' = \epsilon'_\infty + \Delta\epsilon = 4,548 + 6,29 = 10,84$.

Рассматривая далее частотный спектр воды, вычислим диэлектрическую проницаемость молекулы воды, закреплённой атомом кислорода, соответствующую собственной частоте колебаний молекулы воды $\omega_{05} = 4,5274 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$. Значение поляризуемости на этой частоте $\alpha'_5 = 0,30486 \cdot 10^{-37} \Phi_M^2$, а значение диэлектрической проницаемости вычисляется по формуле $\epsilon' = \epsilon'_\infty + \Delta\epsilon = 4,548 + 76 = 80,5$, где

$$\Delta\epsilon = \frac{2n_0\alpha'_5}{3\epsilon_0} = 76.$$

Высокочастотная диэлектрическая проницаемость молекулы воды, закреплённой атомом кислорода на поверхности твердого тела, соответствует значению:

$$\epsilon' = \epsilon'_\infty + \Delta\epsilon = 10,84 + 76 = 86,84.$$

Рассмотрим отрицательно заряженную поверхность. В этом случае молекула воды закрепится на поверхности твердого тела атомами водорода (рис. 4).

Составляющая дипольного момента в направлении поля равна (1). Величина θ определяется из задачи о колебании молекулы воды в переменном электрическом поле, закреплённой на поверхности твердого тела ионами водорода. Молекула совершает вынужденные колебания, описываемые дифференциальным уравнением (3).

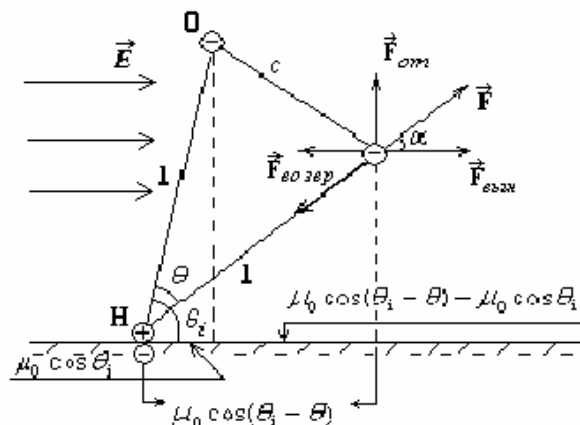


Рис. 4. Движение диполя молекулы воды, закреплённой на поверхности твердого тела атомами водорода

Момент инерции молекулы воды, закрепленной на поверхности атомами водорода, вычисляется аналогично моменту инерции молекулы, закрепленной ионом кислорода по теореме Штейнера: $I = I_0 + mR^2$, где $m = 29,89 \cdot 10^{-27}$ кг – масса молекулы воды; $I_0 = 2,9376 \cdot 10^{-47}$ кг·м² – значение момента инерции молекулы воды относительно оси, проходящей через центр инерции; $R = 52,06 \cdot 10^{-12}$ м – расстояние между осью, проходящей через центр инерции свободной молекулы и осью закрепления молекулы атомами водорода. Тогда $I = 11,0385 \cdot 10^{-47}$ кг·м² – момент инерции молекулы воды, закрепленной атомами водорода.

Рассмотрим поведение молекулы воды, закрепленной атомами водорода на тех же частотах, что и при закреплении атомом кислорода: $\omega_{01} = 1,2905 \cdot 10^{14}$ с⁻¹, $\omega_{02} = 4,0035 \cdot 10^{14}$ с⁻¹, $\omega_{03} = 0,3636 \cdot 10^{14}$ с⁻¹. Соответствующие поляризуемости рассчитываются по формуле (7) и равны: $\alpha'_6 = 1,0414 \cdot 10^{-41}$ Фм², $\alpha'_7 = 0,1082 \cdot 10^{-41}$ Фм², $\alpha'_8 = 1,3119 \cdot 10^{-40}$ Фм²

Тогда

$$\varepsilon'_\infty = \varepsilon'_e + \varepsilon'_u + \frac{2n_0(\alpha'_6 + \alpha'_7 + \alpha'_8)}{3\varepsilon_0} = 3,616.$$

Значение поляризуемости молекулы воды, закрепленной атомами водорода на собственной частоте колебаний молекулы $\omega_{04} = 1,579 \cdot 10^{13}$ с⁻¹ вычисляется по формуле:

$$\alpha'_9 = \frac{\mu_0^2}{2I\omega_{09}^2},$$

где $I = 11,0385 \cdot 10^{-47}$ кг·м² – момент инерции молекулы воды, закрепленной атомами водорода.

$$\alpha'_9 = 0,6956 \cdot 10^{-39} \text{ Фм}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{2n_0\alpha'_9}{3\varepsilon_0} = \frac{2 \cdot 3,34 \cdot 10^{28} \cdot 0,6956 \cdot 10^{-39}}{3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 1,75$$

Диэлектрическая проницаемость молекулы воды, закрепленной атомами водорода равна $\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \Delta\varepsilon = 3,616 + 1,75 = 5,366$

На собственной частоте колебаний $\omega_{04} = 4,5274 \cdot 10^{12}$ с⁻¹ поляризуемость

$\alpha'_{10} = 0,0846 \cdot 10^{-37}$ Фм², а диэлектрическая проницаемость

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \Delta\varepsilon = 5,366 + 21,29 = 26,656,$$

где $\Delta\varepsilon = \frac{2n_0\alpha'_{10}}{3\varepsilon_0} = 21,29$.

С учетом $\Delta\varepsilon$ высокочастотная диэлектрическая проницаемость молекулы воды, закрепленной атомами водорода на поверхности твердого тела, соответствует значению: $\varepsilon'_\infty = 26,656$. В этой области радиочастот диэлектрическая проницаемость молекулы воды, закрепленной атомом кислорода, имеет значение: $\varepsilon' = 86,84$

Экспериментальные формулы, полученные Теплером на большом количестве экспериментального материала, связывают напряжение возникновения коронного и скользящего разрядов и диэлектрическую проницаемость поверхностного слоя.

В области низких частот отношения между напряжениями коронного разрядов, используя формулы Теплера, равны:

$$\begin{aligned} \frac{U_{k1}}{U_{k2}} &= \frac{U_{kO_2}}{U_{kH_2}} = \frac{6,75 \cdot 10^{-2} \left[\frac{d}{\varepsilon_1} \right]^{0,45}}{6,75 \cdot 10^{-2} \left[\frac{d}{\varepsilon_2} \right]^{0,45}} = \\ &= \left[\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right]^{0,45} = \left[\frac{26,656}{86,84} \right]^{0,45} = 0,59 \end{aligned}$$

Отношение напряжений скользящего разряда:

$$\begin{aligned} \frac{U_{ck1}}{U_{ck2}} &= \frac{U_{ckO_2}}{U_{ckH_2}} = \frac{0,59 \left[\frac{d}{\varepsilon_1} \right]^{0,45}}{0,59 \left[\frac{d}{\varepsilon_2} \right]^{0,45}} = \\ &= \left[\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right]^{0,45} = \left[\frac{26,656}{86,84} \right]^{0,45} = 0,59 \end{aligned}$$

т.е. напряжения коронного и скользящего разрядов на изоляторах с кислой поверхностью (глазурь или загрязнения) ниже, чем для изоляторов с щелочной поверхностью.

Заключение

В зависимости от того, является поверхность щелочной, или кислой, диэлектрическая проницаемость воды на этой поверхности будет различаться, что скажется на эксплуатационных характеристиках изоляторов. В области упругой дипольной поляризации при закреплении кислородом диэлектрическая проницаемость равна $\varepsilon'_{\infty} = 80,5$, а при закреплении молекулы воды атомами водорода $\varepsilon'_{\infty} = 24,9$.

Приведенные расчеты показывают, что диэлектрическая проницаемость монослоя воды, характерного для поверхности изоляторов при относительной влажности окружающего воздуха до 60%, и разрядные характеристики изоляторов могут отличаться в зависимости от того, является поверхность щелочной или кислой. Этим следует руководствоваться при разработке состава и технологии глазури для изоляторов. При конструировании изоляторов следует учитывать характер загрязнений поверхности в местах эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюков Н.С., Минаков Н.В., Князев В.А. и др.; под ред. Н.С. Костюкова. Электрические изоляторы. М.: Энергоиздат, 1984.
2. Меркалев С.Д., Соломонник Е.А. Выбор и эксплуатация изоляции в районах с загрязненной атмосферой. Л.: Энергоиздат, 1983.
3. Александров Р.Н., Иванов В.Л., Кизеветтер В.Е. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции. Л.: Энергия, 1969.
4. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). М.: Физматгиз, 1958.
5. Бенинг П. Электрическая прочность изоляционных материалов и конструкций. Пер. с нем. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.
6. Дж. Стивелс. Электрические свойства стекла. М.: Изд. иностранной литературы, 1961.
7. Костюков Н.С., Лукичев А.А. и др. Диэлектрики и радиация: В 4 кн./ Под общ. ред. Н.С. Костюкова. Кн. 2: ϵ и $\text{tg}\delta$ при облучении. М.: Наука, 2002.
8. Костюков Н.С., Банышева В.В., Поляризация процессы в воде // Электричество. 2001. №11.
9. Банышева В.В. Теория вынужденных колебаний дипольных диэлектриков: Дисс. к.ф.-м. наук. Благовещенск, 2002.
10. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Л.: Гидрометеиздат, 1975.

WATER MONOLAYER POLARIZATION ON THE SURFACE OF THE INSULATOR

© 2008 N.V. Erjomina¹, N.S. Kostyukov²

¹Geology and Nature Management of Far East Branch
of the Russian Academy of Science, Blagoveshchensk

²Institute of High Technologies of Amur State University, Blagoveshchensk

In this paper the model of polarization of water molecule fixed on a surface of solid by oxygen ion is considered.