

Рыжаков Д.В., Широков С.О.
Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Оценка параметров многосекционных стелющихся антенн с улучшенной изоляцией с учетом их применения в условиях Арктики и крайнего Севера

Радиосвязь зачастую является единственным родом связи, с помощью которого возможно организовать надежную и непрерывную связь в условиях Арктики и крайнего Севера. Однако, жесткие и суровые условия Арктики и крайнего Севера в значительной степени осложняют эксплуатацию антенно-мачтовых устройств декаметровых радиолинии. Это в первую очередь связано с механическими повреждениями антенно-мачтовых устройств вследствие воздействия агрессивных факторов внешней среды. Оценивается возможность применения многосекционных стелющихся антенн, как средство минимизации воздействия внешних факторов окружающей среды с сохранением требуемого уровня связи. Применение данного типа антенн позволит увеличить физическую защищенность радиолинии и сохранить функционирование антенн на должном уровне.

Ключевые слова: Стелющаяся антенна, Арктическая зона, эффективность, коэффициент усиления.

Важным фактором при эксплуатации антенно-фидерных устройств в условиях Арктики и крайнего Севера является температура эксплуатации используемой изоляции. Стандартным вариантом исполнения изоляции является полиэтилен высокой плотности, данный материал отлично подходит для умеренного климата, однако использование данного вида изоляции не может обеспечить достаточной надежности связи при применении в условиях Арктики и крайнего Севера. В связи с тем, что температура эксплуатации полиэтилена высокой плотности варьируется от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$, то данный вид изоляции не сможет обеспечить надежной связи в рассматриваемых условиях, так как в зимний период температура окружающей среды может опускаться до -60°C – -70°C , вследствие чего начинается остекление материала изоляции, что может привести к частичному разрушению антенны, что ведет к потере связи на продолжительный период времени.

Одним из вариантов решения является замена полиэтилена высокой плотности полимером фторпласт-4, данный материал является более стойким к внешнему воздействию. Функционирование антенны с данным видом изоляции возможно от -279°C – $+260^{\circ}\text{C}$, что позволяет расширить температурный диапазон использования антенны и увеличить ее надежность. Однако, данные виды изоляции имеют различные электрические характеристики, рассмотрим 3 наиболее часто используемых вида изоляции полиэтилен высокой плотности ($\epsilon_r = 2,28, \sigma = 10^{-2}\text{См/м}$), полиэтилен низкой плотности ($\epsilon_r = 2,4, \sigma = 10^{-6}\text{См/м}$) и фторпласт-4 ($\epsilon_r = 2, \sigma = 10^{-6}\text{См/м}$). Рассмотрим, как влияет замена изоляции на КУ на примере классического симметричного цилиндрического вибратора, находящегося в условиях крайнего Севера с электрическими параметрами ($\epsilon_r = 75, \sigma = 5 \cdot 10^{-6}\text{См/м}$) и работающего на длине волны ($\lambda = 30\text{ м}$) (рис.1).

Ниже приведена методика расчета, согласно, которой возможно определить КУ одиночного цилиндрического вибратора, находящегося в изоляции[1]:

КУ ПА в общем виде определяется выражением:

$$G_a = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \operatorname{Re}(\sqrt{\varepsilon_r})^2, \quad (1)$$

где A - эффективная площадь антенны, определяемая выражением (2), $\varepsilon_r = \varepsilon_r - i 60\sigma \lambda$ - относительная комплексная диэлектрическая проницаемость среды заложения антенны.

$$A = \frac{30 \pi |l_{da}|^2}{R_a \operatorname{Re}\sqrt{\varepsilon_r}}, \quad (2)$$

где $R_a = \operatorname{Re}Z_a$ - активное сопротивление ПА, где Z_a - полное сопротивление для разомкнутого проводника определяется выражением (3), l_{da} - действующая длина антенны, рассчитывается согласно выражения (4).

$$Z_a = 2\rho \operatorname{cthy}l, \quad (3)$$

$$l_{da} = \frac{2}{\gamma} \operatorname{th} \frac{\gamma l}{2}. \quad (4)$$

Выражения (1)–(4) позволяют оценить основные параметры антенны, находящейся в диссипативной среде. Вторичные волновые параметры: ρ - волновое сопротивление и γ - постоянная распространения рассчитываются в зависимости от формы плеча антенны.

Волновые параметры цилиндрического проводника в однослойной изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью ε_{r1} , помещенного в однородную изотропную среду с относительной комплексной проницаемостью ε_{r2} , в зависимости от электрической длины плеча: $\beta l = \left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) 60\sigma_2\lambda$, определяются следующими выражениями [2]:

при $\beta l < (\pi/2 \dots \pi)$:

$$\gamma = ik_2 \sqrt{\left(\ln \frac{l}{a_1} - 1\right) \left(\ln \frac{a_2}{a_1} + \ln \frac{l}{a_2} - 1\right)^{-1}}, \quad (5)$$

$$\rho = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{l}{a_1} - 1\right) \left(\ln \frac{a_2}{a_1} + \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}} \left(\ln \frac{l}{a_2} - 1\right)\right)}, \quad (6)$$

где a_2 - радиус изоляции, a_1 - радиус проводника.

При $\beta l > (\pi/2 \dots \pi)$:

$$\gamma = ik\sqrt{\varepsilon_{r2}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_1 \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_2 \chi}{2} - \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{a_2}{a_1}\right)^{-1}}, \quad (7)$$

$$\rho = -\frac{60}{\sqrt{\epsilon'_{r2}}} \sqrt{\left(\ln \frac{ik_2 a_1 \chi}{2}\right) \left(\ln \frac{ik_2 a_2 \chi}{2} - \frac{\epsilon'_{r2}}{\epsilon'_{r1}} \ln \frac{a_2}{a_1}\right)}. \quad (8)$$

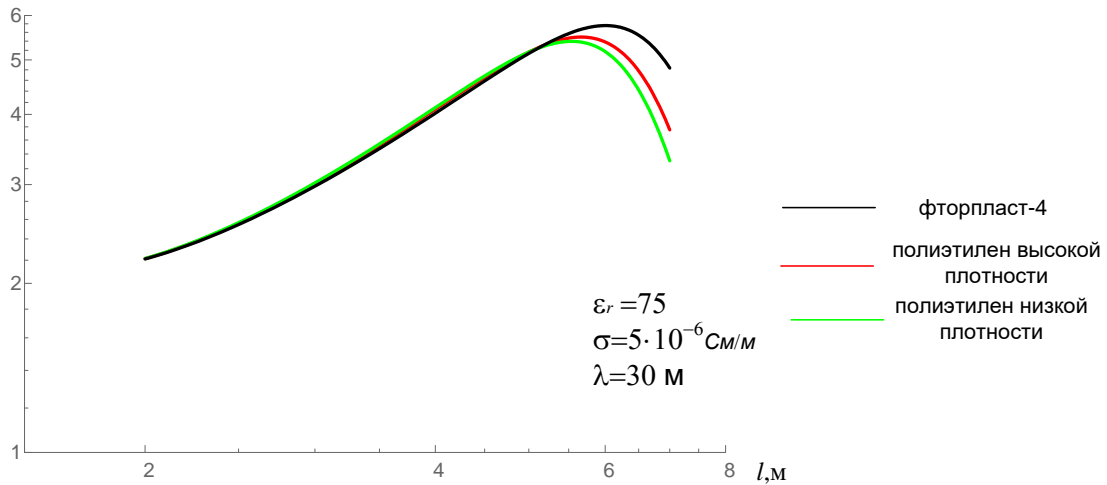


Рис.1 Зависимость КУ ПА от длины плеча при различных видах изоляции

Как видно из графика (рис 1), замена изоляции практически не влияет на КУ ПА, а даже увеличивает его, отсюда сделан вывод о целесообразности замены изоляции, что дает только положительные результаты при применении антенны в условиях Арктики и крайнего Севера.

Также можно заметить, что одиночный вибратор ни с одним из видов изоляции не может гарантировать того уровня связи, который гарантируют аналогичные мачтовые антенно-фидерных устройства, находящиеся в воздушном пространстве, вследствие того, что антенна находится в диссипативной среде, в результате чего наблюдаются большие потери энергии в ближней зоне проводимости.

Наиболее удачным конструктивным решением, с помощью которого возможно решить сразу 2 рассмотренные проблемы: минимизацию внешних факторов агрессивной среды Арктики и крайнего Севера и повышение характеристик антенны до уровня аналогичных мачтовых антенно-фидерных устройств, является многосекционная стелющаяся (МСА) (рис.2).

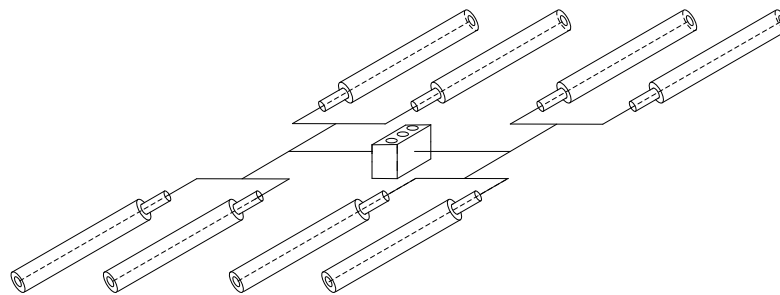


Рис.2 Многосекционная стелющаяся антенна с 4-мя секциями

Устройство стелющейся антенны в виде системы параллельно расположенных и синфазно питаемых линейных горизонтальных стелющихся проводников (секций) является эффективным способом увеличения усиления. Разветвление тока по многим проводникам

приводит к уменьшению напряженности поля у их поверхности и, следовательно, к снижению потерь в ближней зоне проводимости. В отличие от антенн с многократным заземлением, МСА конструируется так, чтобы обеспечивалось максимальное излучение в верхнее полупространство. С этой целью секции питаются синфазно, располагаются параллельно и на таком расстоянии друг от друга, чтобы взаимное влияние между ними было достаточно мало.

При расположении всех секций параллельно границе воздух-земля поля в зенит одно- и n -секционной антенн будут пропорциональны сумме токов в секциях, тогда выигрыш в усилении при переходе от одно- к n -секционной антенне при синфазном и равноамплитудном питании будет равен [2]:

$$G_{0n} = n \frac{R_1}{\bar{R}}, \quad (9)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n R_p, \quad (10)$$

где \bar{R} – среднее арифметическое значение сопротивления секции n -секционной антенны.

Если расстояние между секциями выбрано настолько большим, что можно пренебречь их взаимным влиянием и полагать $\bar{R} = R_1$, то:

$$G_{0n} \approx n. \quad (11)$$

Вследствие конечной степени взаимного влияния между секциями, их сопротивления оказываются неодинаковыми. Поэтому имеет значение вопрос об оптимальном распределении токов между секциями.

Условие максимума усиления МСА выполняется при возбуждении секций напряжениями равной амплитуды и означает, что амплитуда токов и величины мощностей в секциях должны быть обратно пропорциональны их активным сопротивлениям. Однако при большом числе секций значения \bar{R} и R_1 мало отличаются друг от друга. Поэтому возбуждение секций синфазными равноамплитудными токами или напряжениями будет давать близкие результаты.

На графике (рис.3) приведены результаты расчета КУ стелющейся антенны при ее конструктивном выполнении в виде МСА по сравнению с одиночным вибратором диаметром 0,001 м., находящимся в изоляции из фторпласт-4 диаметром 0,005 м. Предметом исследования выбрана МСА с 4 секциями, каждая из которых состоит из 2 активных вибраторов диаметром 0,001 м., находящиеся в изоляции из фторпласт-4 диаметром 0,005 м.

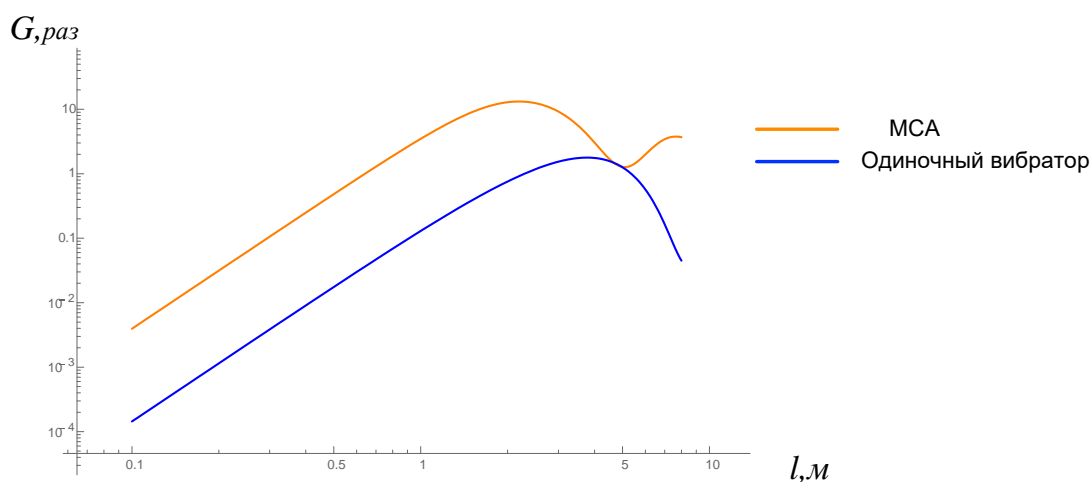


Рис.3 Зависимость КУ МСА и одиночного вибратора от длины плеча

По результатам графического исследования определено, что КУ МСА больше, чем КУ одиночного вибратора в 8,5 раз, что подтверждает приведенную выше методику.

На основании приведенных расчетов и методик выявлено, что за счет предложенной конструкции МСА возможно спроектировать приемные и передающие антенные устройства ДКМ-радиолинии с учетом их эксплуатации в условиях Арктики и крайнего Севера. Защита антенн от воздействия окружающей среды (оледенение, снежные бури) осуществляется за счет снижения парусности и использования материалов стойких к воздействию низких температур.

Библиографический список

1. Сосунов Б.В., Филиппов В.В. Основы расчета подземных антенн. – Л:ВАС, 1990 с.114-130 .
2. Лавров Г.А., Князев А.С. Приземные и ПА. Теория и практика антенн, размещенных вблизи поверхности земли. – М: Советское радио, 1965 с.275-284.