

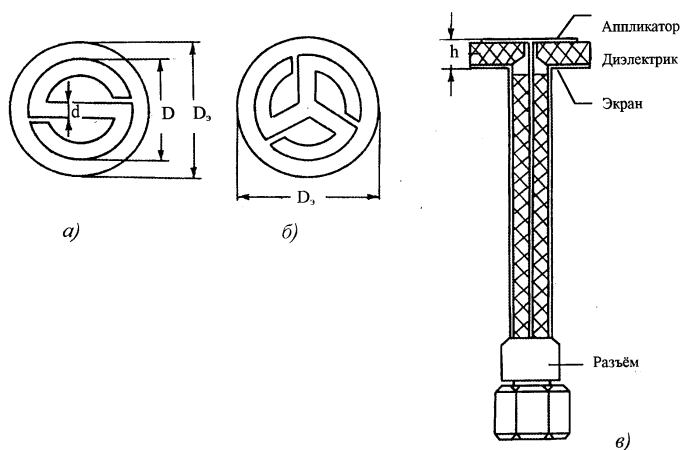
АПЛИКАТОРНЫЕ СВЧ АНТЕННЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИМЕДИЦИНСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.А. Елкин., В.И. Петросян, Н.И. Сеницын, О.В. Башкатов.

Аннотация. Приводятся радиофизические параметры аппликаторных антенн для физических и медико-биологических исследований.

СВЧ радиоизлучения водосодержащих сред и биосистем от микроорганизмов до человека чувствительны к внешним полевым и физико-химическим воздействиям. Изменение параметров радиоизлучения связано с молекулярными процессами, происходящими в средах под воздействием внешних и внутренних факторов. Расшифровка этих изменений позволяет получать информацию о реакции организмов на воздействия диагностических и терапевтических нагрузок, даёт возможность проследивать различные биохимические процессы. Поскольку собственные радиошумовые излучения объектов в СВЧ диапазоне (ДМ) имеют крайне низкий уровень ($\sim 10^{-15} - 10^{-17} \text{ Вт/см}^2$), в качестве приёмников излучения используются СВЧ радиометры и контактные аппликаторные антенны, согласованные с биосредой.

Разработаны миниатюрные микрополосковые петлевые антенны-аппликаторы на рабочие частоты от 400 МГц до 1 ГГц с шириной рабочей полосы в пределах 50 МГц. Топология электродинамической системы 2-х и 3-х петлевых антенн на диэлектрических подложках представлена на рис.1. Возможны варианты с большим или меньшим числом петель. Для оценки оптимального диаметра раскрытия можно использовать рабочую формулу, учитывающую эффективную ДП $\epsilon_{\text{эф}} = (\epsilon_{\text{д}}^{-1} + |\epsilon_{\text{с}}^*|^{-1})^{-1}$ и произвольное число n четвертьволновых петлевых вибраторов:



Топология электродинамической системы аппликатора *а)* двухпетлевого, *б)* трёхпетлевого, *в)* конструкция аппликаторной антенны

$D \approx K\lambda_0 \{1 + \epsilon_{\text{д}} / 2|\epsilon_{\text{с}}^*|\} / 2(1 + 2\pi/n)\sqrt{\epsilon_{\text{д}}}$, где $K < 1$ - поправочный коэффициент формы, $\epsilon_{\text{д}}$ - ДП диэлектрика, комплексная ДП среды $\epsilon_{\text{с}}^* = \epsilon'_{\text{с}} - j\epsilon''_{\text{с}} = \epsilon'_{\text{с}} - j\sigma_{\text{с}}/\omega\epsilon_0$, $\lambda_{0\text{р}} = C_0 / \nu_{\text{р}}$ - резонансная длина волны в свободном пространстве, C_0 - скорость света в вакууме, $\nu_{\text{р}}$ - резонансная частота антенны, $\sigma_{\text{с}}$ - удельная электропроводность среды, ω - циклическая резонансная частота антенны, ϵ_0 - абсолютная ДП вакуума.

Следует отметить влияние размеров экрана на характеристики микрополосковой антенны. При увеличении диаметра экрана $D_{\text{э}}$ от $1D$ до $1,5D$ коэффициент усиления асимптотически увеличивается до 6 дБ. Отсюда следует, что краевые

поля практически исчезают в зазоре экран – среда, если размер $D_{\text{э}} \geq 1,5D$. Поэтому у такой антенны отсутствует затекание токов возбуждения на внешнюю сторону экрана, и она не имеет зон приёма СВЧ мощности со всех сторон, кроме рабочей поверхности.

Важным свойством антенн является слабая связь со свободным пространством, осуществляемая краевыми полями. Коэффициенты потерь на излучение лежат в пределах от 0.01 до 0.03. Следовательно, антенны с такими особенностями, обеспечивают хорошую помехозащищённость при высокой эффективности работы в контакте со средой.

Эффективность приёма излучений определяется согласованием антенны со средой. Поскольку затухание СВЧ излучения в водных и биосредах велико, приём мощности шумового СВЧ излучения осуществляется с глубины, близкой к длине волны в среде. Следовательно, приём радиоизлучения аппликатором идёт преимущественно из ближней зоны антенны. Отношение напряжённостей электрического (E) и магнитного (H) полей есть волновое сопротивление. В дальней зоне это отношение равно волновому сопротивлению среды $\rho =$

$E/H = \sqrt{(\mu_0 \mu_c / \epsilon_0 \epsilon_c)} = 377 \sqrt{(\epsilon_c \mu_c)}$. Для тканей с ДП в интервале $\epsilon_c = 70 - 30$ (например, на частоте в 1 ГГц) ρ меняется в диапазоне 50 - 70 Ом. Если в антенне возбуждается преимущественно ток при низком напряжении, то ближнее поле является, в основном, магнитным с полным волновым сопротивлением $E/H < \rho$ и наоборот, при малом токе и большом напряжении в ближнем поле преобладает электрическая компонента с полным волновым сопротивлением $E/H > \rho$. Для поля, в котором преобладает электрическая компонента E , ρ среды, возмущённой распределительной электродинамической системой антенны, с увеличением расстояния (Y) от “электрической” антенны падает как Y^{-1} от больших величин порядка нескольких кОм, асимптотически приближаясь к ρ в дальней зоне ρ со средним значением около 60 Ом. Для поля, в котором преобладает магнитная составляющая H , ρ среды в ближней зоне “магнитной” антенны с расстоянием увеличивается как Y^1 от малых значений порядка десятков Ом до того же асимптотического среднего значения около 60 Ом – рис.2. Поэтому отличие “магнитной” и “электрической” антенн заключается в различной силе возмущения

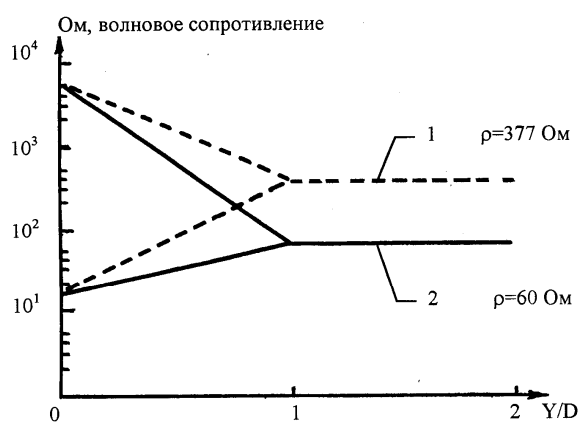


Рис.2. Зависимость волнового сопротивления среды от расстояния до раскрытия антенны, 1 - согласованной со свободным пространством, 2 - согласованной с телом человека

волнового сопротивления среды в ближней зоне. Вблизи “электрической” антенны перепад волновых сопротивлений достигает двух порядков. Это обуславливает повышенное затухание и ограничивает глубину зондирования. В ближней зоне “магнитной” антенны ρ меняется более плавно - всего в несколько раз. В результате повышается качество согласования и усиливается взаимодействие антенны со средой в режиме бегущей волны на большей глубине пространства зондируемой среды. Указанные преимущества обосновывают предпочтительное применение “магнитных” аппликаторных антенн, обеспечивающих бо́льшую глубину зондирования и условия реализации режима бегущей волны. Коэффициенты отражения на границе с телом человека или водной средой в полосе приема таких антенн не превышали максимальных значений 1,2...2.

Важнейшей характеристикой свойств антенн является распределение энергии приёма по зонам: ближней, дальней и пограничной. Ближняя зона определялась измерениями при удалении от поверхности аппликатора на $0.5D$, пограничная зона - на удалении $1D$ и дальняя зона - на удалении $2D$. Распределение энергии на уровне 0,5 по раскрытию аппликаторов в ближней и средней зонах достаточно однородно в пределах раскрытия, в дальней зоне ширина диаграммы направленности укладывается в пределах $\pm 60^\circ$. В диапазоне частот от 1 ГГц до 400 МГц с можно считать, что глубина зондирования в водосодержащих средах близка к размеру диаметра аппликаторной антенны.

Важным параметром антенн являются их поляризационные свойства. Двухпетлевая антенна чувствительна к линейной поляризации внешних радиоволн. Когда нужно исключить поляризационную зависимость, используется трехпетлевая антенна.

Литература. Синицын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А. “СПЕ – эффект”. // Радиотехника. Москва, 2000. №8. С.83-93.