

# ИЗМЕРЕНИЕ SAR НА ЧАСТОТАХ 5–6 ГГц

Вопрос, который часто возникает при пользовании беспроводными приборами, – существует ли потенциальная опасность для здоровья человека от СВЧ-излучения? Федеральная комиссия по связи (FCC) утвердила пределы облучения человека от мобильных телефонов и аналогичной аппаратуры в терминах SAR – меры интенсивности, с которой ВЧ-энергия поглощается кожей тела или мозгом. Для рабочих частот до 3 ГГц уже несколько лет действуют международные стандарты безопасности допустимого уровня SAR, однако число приборов, работающих в диапазоне 5–6 ГГц, непрерывно растет, но стандарты тестирования для них отсутствуют.

Ключевым критерием оценки беспроводного прибора, работающего вблизи человеческого тела (ближе 20 см), выбрана специфическая интенсивность поглощения (SAR), которая измеряется в единицах Вт/кг и для которой существуют ограничивающие стандарты от 300 МГц до 3 ГГц. Утвержденный допустимый предел SAR равен 1,6 Вт/кг при измерении на 1 г человеческой кожи.

Измерения SAR очень важны для понимания эффекта воздействия излучения от сотовых телефонов и иных беспроводных приборов на людей и другие биологические организмы. По мере роста частоты поглощение в теле характеризуется большей интенсивностью, а глубина воздействия на кожу зависит от длины волны колебаний. На 300 МГц глубина проникновения электромагнитного поля обычно составляет 50 мм, а на 6 ГГц примерно 5 мм. В последнее время измерения SAR в основном проводились в диапазоне от 835 до 1900 МГц, при этом диаметр верхушки датчика 5–8 мм был мал относительно объема облучения. Однако на частоте 5,8 ГГц, используемой для беспроводных локальных сетей IEEE 802.11a, поле проникает на глубину всего несколько миллиметров, и датчики SAR уже соизмеримы с объемом облучения. Хотя ошибки, возникающие из-за "крупных" датчиков, оценивать научились и создана схема коррекции, основной путь усовершенствования системы тестирования SAR – создание датчиков меньших размеров для 5–6 ГГц. Другие проблемы, связанные с использованием сложной аппаратуры для измерений на частотах выше 3 ГГц, возникают при калибровке SAR-датчиков и разработке методов оценки измерительных установок, гарантирующих правильность получаемых результатов.

На частотах ниже 3 ГГц система тестирования SAR проверяет, находится ли СВЧ-энергия, излучаемая беспроводным прибором, в пределах, допустимых стандартами. Примером типовой системы тестирования SAR может служить установка фирмы TDK RF Solutions (рис.1). Сдвоенный фантом вмещает жидкость, имитиру-



Э.Рувинова

ющую кожу человека, и по форме и размеру отображает уплощенное ухо пользователя мобильного телефона. Автоматический робот, управляемый микропроцессором, позиционирует датчик в пределах точно определенного объема жидкости. Несколько типов прилагаемых датчиков измеряют электромагнитное поле внутри жидкости, наводимое излучением телефона. Мобильный телефон с антенной размещаются под фантомом. Все измерения проводятся в экранированной комнате.



Рис.1. Система тестирования SAR до 3 ГГц

Для измерения SAR ниже 3 ГГц часто рекомендуется применять балансные диполи, размещаемые на определенном расстоянии ниже фантома. В полосе 5–6 ГГц, однако, применение подходящих балансных диполей затруднено из-за их малых габаритов и более высокой точности размещения. Предлагались волноводы с открытым концом, размещаемые на некотором расстоянии от фантомов, как альтернативные источники облучения. Но в этом случае возникали трудности получения результатов, соответствующих предполагаемым эталонным значениям.

В новой модификации волноводного метода волновод размещается в непосредственном контакте с фантомом (рис.2). Согласно диэлектрическое окно минимизирует потери из-за утечки и отражения.

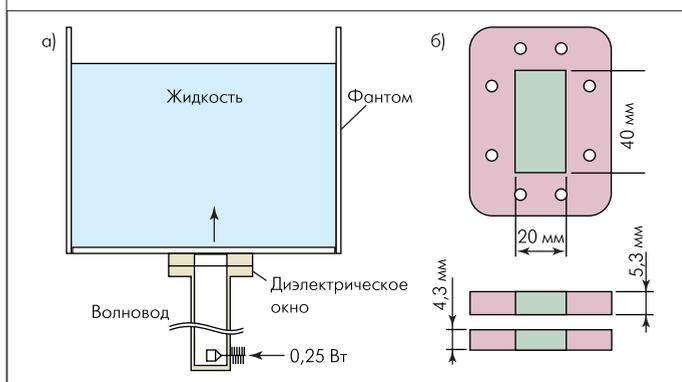


Рис.2. Конфигурация устройства для тестирования SAR (а); диэлектрическое окно (б)



Габариты фантома предварительно определяются на основании требований соответствующих стандартов оценки SAR. На частотах тестирования свыше 3 ГГц размеры фантома не следует определять в зависимости от частоты – лучше делать это исходя из габаритов тестируемых приборов (или по крайней мере их активных частей). Для исследования использовался фантом прямоугольной формы с размерами 216x200x152 мм. Поскольку размеры волновода находятся в обратной зависимости от частоты, его габариты непрактично велики для 300 МГц и слишком малы в сравнении с размерами датчика свыше 5 ГГц. Основание фантома толщиной 2 мм имеет относительную диэлектрическую проницаемость 2,56. Вычисления проводятся до глубины в жидкости 35 мм и по горизонтальной площади 85x65 мм. Учитываются и потери в волноводе с типичным значением проводимости его стенок. Вычисления обычно занимают 2 ч на ПК с ОС Windows 2000.

Выбор состава жидкости, имитирующей кожу человека, для полосы 5–6 ГГц не очень прост. Трудно достичь необходимых свойств, используя простой состав сахар/соль/вода. К счастью, успехи по составу имитирующей жидкости, достигнутые в Бристольском университете, обеспечили стабильную жидкость с желаемыми свойствами. Используемая в данном исследовании жидкость имитировала ткань мозга, и ее измеренные свойства на 5,2 и 5,8 ГГц см. в таблице.

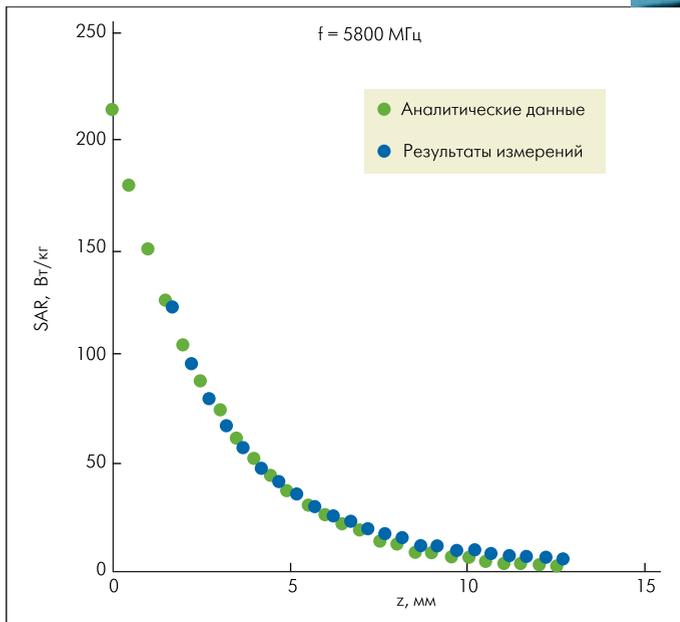
Для расчета размеров согласующего окна использовались два подхода. В соответствии с первым, опытным, методом испытывались окна различных размеров, а затем определялись размеры окна для оптимальных потерь. Окна толщиной 5,3 и 4,3 мм были изготовлены из диэлектрического материала фирмы Emerson & Cuming Microwave Products. Второй подход состоял в расчете оптимальных размеров окон на основе максимального SAR, генерируемого в фантоме, и минимального отраженного сигнала.

Потенциально возможны различные согласующие окна для разных частот в исследуемой полосе, однако для проводимого эксперимента на основе комбинации результатов предыдущих исследо-

ском университете, обеспечили стабильную жидкость с желаемыми свойствами. Используемая в данном исследовании жид-

**Свойства жидкости, имитирующей ткань мозга**

Частота, ГГц	Относительная диэлектрическая проницаемость	Удельная проводимость, См/м
5,2	34,43	4,98
5,8	32,84	5,7



**Рис.3. Профиль SAR по вертикали**

ваний было выбрано одно окно толщиной 5,2 мм с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 6.

Для удобства одно и то же окно использовалось для двух значений частот, хотя это представляло некий компромисс.

Вычисления и измерения проводились на 5,2 и 5,8 ГГц, результаты сравнения показаны на рис.3. Измерения основывались на калибровке SAR-датчиков в подобных волноводах при использовании окон согласования, при этом происходило согласование измеренного профиля поля с полученным в результате аналитических вычислений. Измерения проводились с использованием двух типов SAR-датчиков, имеющих диаметр наконечника 5 и 3 мм.

И в фазе калибровки, и в фазе измерения требуются точные определения диэлектрических свойств жидкости.

www.mwrf.com/  
www.fcc.gov/  
www.tdkrfolutions.com/