

УДК 530.1

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ИЗМЕРЕНИЙ
МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ
ПИРАМИДАЛЬНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ
МАТЕРИАЛОВ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Д.В. Логутов

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия,
dv_logutov@vniiftri.ru*

Аннотация. В статье решается вопрос оценки влияния условий на измерения модуля коэффициента отражения радиопоглощающих пирамидальных материалов в свободном пространстве.

Ключевые слова: модуль коэффициента отражения, радиопоглощающие пирамидальные материалы.

**ESTIMATION OF THE INFLUENCE
OF THE MEASUREMENT CONDITIONS OF THE MODULUS
OF REFLECTION COEFFICIENT OF PYRAMIDAL RADIO
ABSORBING MATERIALS IN A FREE SPACE**

D.V. Logutov

*FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Moscow region, Russia,
dv_logutov@vniiftri.ru*

Annotation. The article deals with the question: to estimate the influence of conditions on the measurements of the modulus of the reflection coefficient of radio-absorbing pyramidal materials in free space.

Key words: modulus of the reflection coefficient, radio-absorbing pyramidal materials.

Радиочастотный поглощающий материал (далее — РПМ) используется для создания условий, эквивалентных свободному пространству, при измерениях радиотехнических характеристик антенн. Актуальность темы обоснована ужесточением требований к показателям точности при выполнении антенных измерений и, как следствие, к характеристикам радиопоглощающих материалов, применяемых для укрытия безэховых экранированных камер. В качестве показателя качества РПМ, как правило, используется модуль комплексного коэффициента отражения (далее — МКО) в свободном пространстве.

Цель работы: оценить влияние условий на измерения МКО пирамидальных РПМ в свободном пространстве.

В настоящее время широко распространены два метода измерений МКО РПМ в свободном пространстве: с применением двух антенн и измерении коэффициента передачи с последующим расчётом коэффициента отражения и с применением одной антенны и измерении коэффициента отражения. На рис. 1 представлены схемы измерений, реализующие два указанных метода.

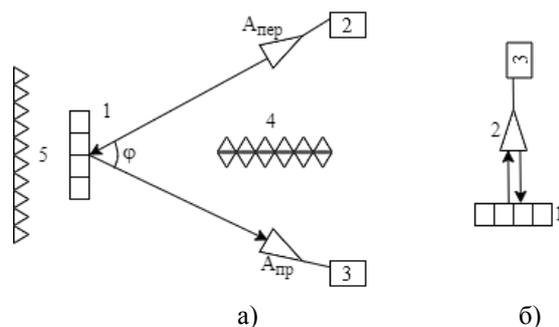


Рис. 1. Основные методы измерений МКО РПМ при нормальном падении волны:
 а — установка с двумя антеннами (1 — испытуемый образец РПМ; 2 — передатчик; 3 — приёмник; 4 — экранирующий РПМ; 5 — подложка из высококачественного РПМ);
 б — установка с одной антенной (1 — испытуемый образец РПМ; 2 — приёмопередающая антенна; 3 — приёмопередатчик)

Также метод измерений МКО с помощью двух антенн может быть дополнен кинематической системой и измерением МКО не по нормали, а при падении волны под углом θ на РПМ можно выполнить по принципиальной схеме, представленной на рис. 2.

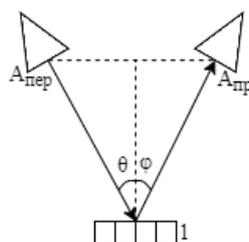


Рис. 2. Принципиальная схема для измерения МКО под углом

Установка состоит из передающей и приёмной антенн, в центре окружности устанавливается испытуемый образец и измеряется мощность $P_{1\phi,\theta}$ волны, отражённой от образца в направлении ϕ при падении на волны под углом θ . Затем измеряется $P_{2\phi,\theta}$ зеркального луча, падающего на металлический лист, установленный на место образца. МКО вычисляется по формуле (1):

$$R_{\phi,\theta} = 10\lg(P_{1\phi,\theta} / P_{2\phi,\theta}). \quad (1)$$

По рис. 1б приёмопередающей антенной измеряется мощность P_1 , отражённая от испытуемого образца. Затем образец РПМ заменяется металлическим листом и измеряется мощность P_2 . Далее коэффициент отражения определяется по формуле (2):

$$R = 10\lg(P_1/P_2). \quad (2)$$

Главным недостатком этих методов является несовпадение результатов для разных типов антенн, разных расстояний и разных видов материалов. Для оценки и уменьшения этих влияний был проведён эксперимент.

Суть эксперимента заключается в измерении двух образцов РПМ на разном расстоянии и с разными типами антенн. Токопроводящая пластина (далее — мера) представляет из себя металлическую пластину размером 600×600 мм. В качестве экспериментальных образцов РПМ были взяты образцы «Штиль-100 К20» размером $600 \times 600 \times 200$ мм и «Emerson VHP4» размером $600 \times 600 \times 100$ мм. Общий вид РПМ представлен на рис. 3. Используемые измерительные антенны П6-59 и П6-32 представлены на рис. 4.



Emerson VHP4



Штиль-100 К20

Рис. 3. Экспериментальные образцы РПМ



П6-59



П6-32

Рис. 4. Используемые измерительные антенны

Измерения проводились по схеме, представленной на рис. 5.

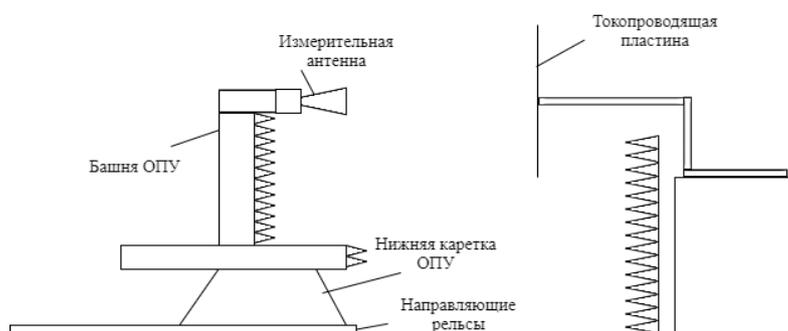


Рис. 5. Схема измерений

Эксперимент проводился в следующем порядке. На башне опорно-поворотного устройства (далее — ОПУ) закреплялась измерительная антенна так, чтобы её раскрыв был расположен параллельно мере. Далее измерялось начальное расстояние от раскрыва антенны до меры. Затем измерялся комплексный коэффициент отражения от меры при перемещении ОПУ по направляющим рельсам вдоль вектора распространения электромагнитной волны.

На следующем этапе на мере закреплялся экспериментальный образец и, также при перемещении ОПУ, измерялся его комплексный коэффициент отражения.

После проведённых операций измерялся комплексный коэффициент отражения рабочей зоны измерительного стенда при отсутствии в нём экспериментальных образцов и меры (так называемый «фон»).

После выполнения эксперимента над измеренными данными производились следующие операции:

- из измерений комплексных коэффициентов отражений меры и образцов РПМ вычитались «фоновые» сигналы;
- затем от полученных сигналов бралось обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ);
- «полезные» сигналы стробировались во временной области;
- от стробированных сигналов бралось прямое ДПФ;
- после этого производилась нормировка к мере.

Затем рассчитывалось значение МКО, которое вычисляется как отношение плотности потока энергии поля, рассеянного от образца РПМ $\rho_{\text{РПМ}}$ и токопроводящей пластины $\rho_{\text{металл}}$ по формуле (3):

$$\text{МКО} = \left| \frac{\rho_{\text{РПМ}}}{\rho_{\text{металл}}} \right|. \quad (3)$$

На рис. 6 и 7 представлены графики, на которых показаны значения МКО в зависимости от расстояния на фиксированных частотах. Синий график — это значения, полученные при помощи антенны П6-59, оранжевый — при помощи П6-32. Из графиков для экспериментальных образцов РПМ видно, что при дальности более 1,5 метров становится сложно выделить «полезный» сигнал из-за большого количества побочных переотражений. Оптимальным расстоянием для дальнейшего рассмотрения принято расстояние до 1,5 м.

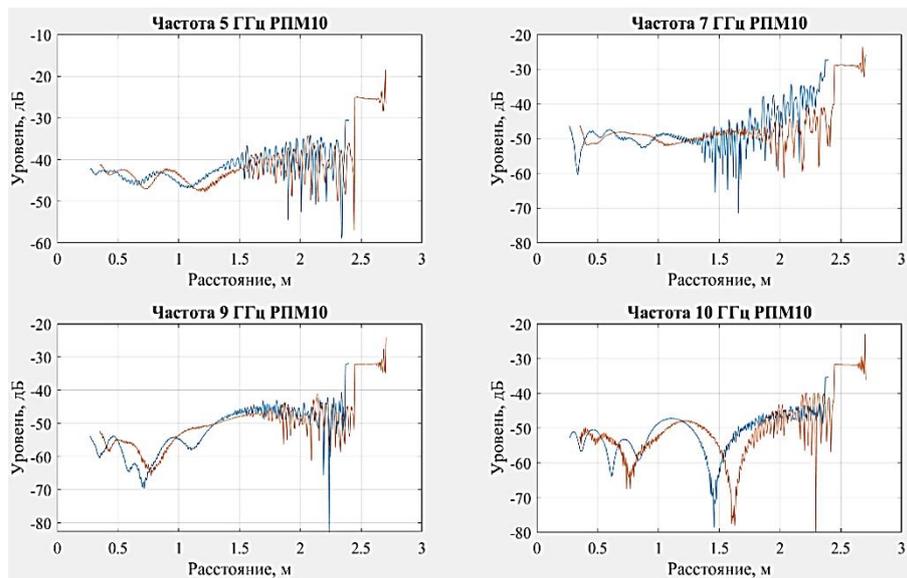


Рис. 6. Значения МКО в зависимости от расстояния для РПМ Emerson VNR4

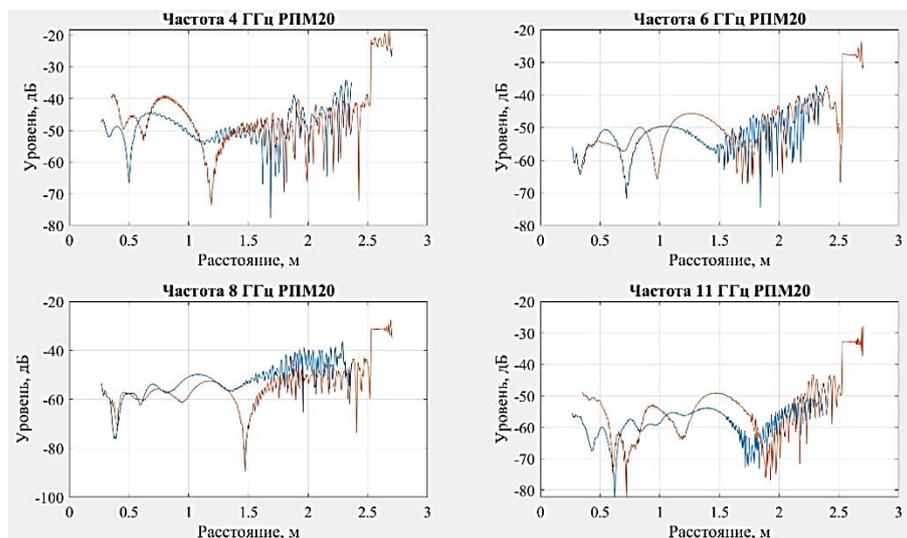


Рис. 7. Значения МКО в зависимости от расстояния для РПМ Штиль-100 K20

На рис. 8 представлен график с измеренными значениями МКО в зависимости от частоты для одной антенны на разных расстояниях. Из графика видно, что на уровне -55 дБ разница между частотными зависимостями МКО достигает 30 дБ.

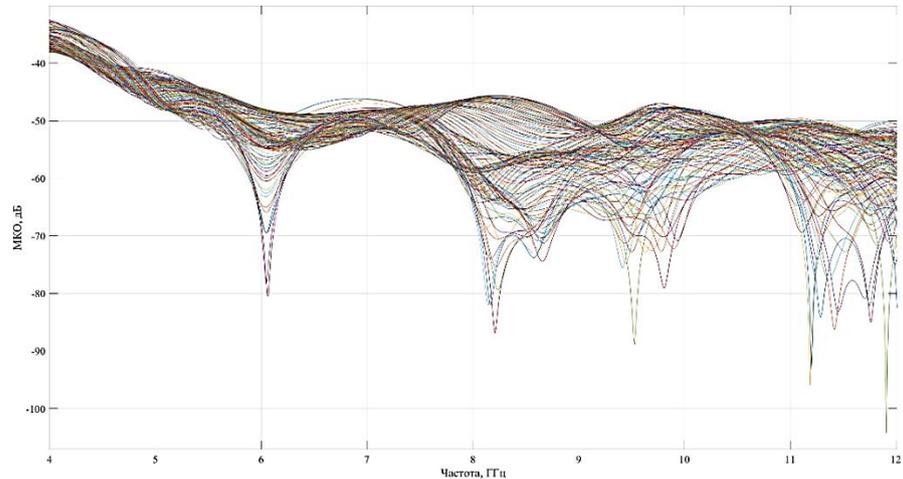


Рис. 8. Значения МКО для одной антенны на разных расстояниях

На рис. 9 и 10 представлены графики, на которых показаны значения МКО в зависимости от частоты на фиксированных расстояниях. Синий график — это значения, полученные при помощи антенны П6-59, оранжевый — при помощи П6-32. Из графиков видно, что для уровня -55 дБ разница в измерениях МКО разными антеннами и на разных расстояниях достигает 20–30 дБ.

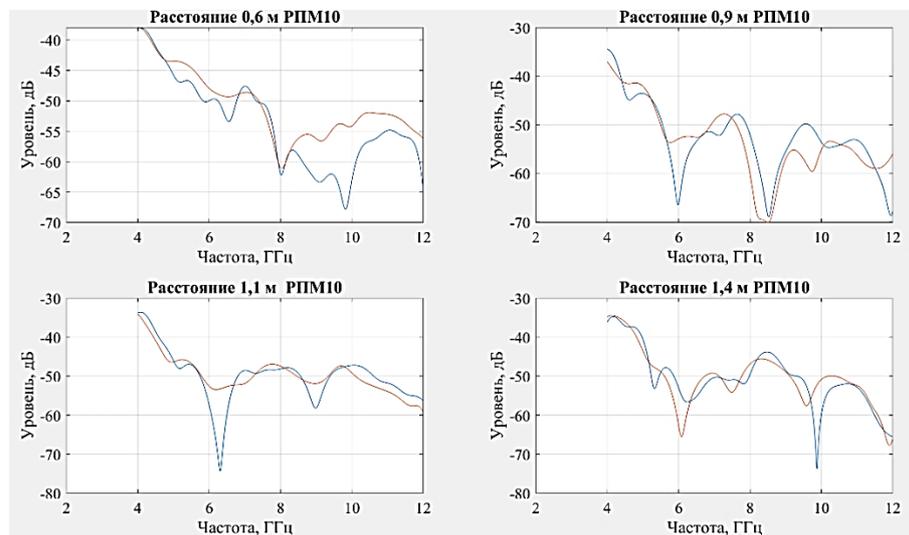


Рис. 9. Значения МКО в зависимости от частоты для РПМ Emerson VHP4

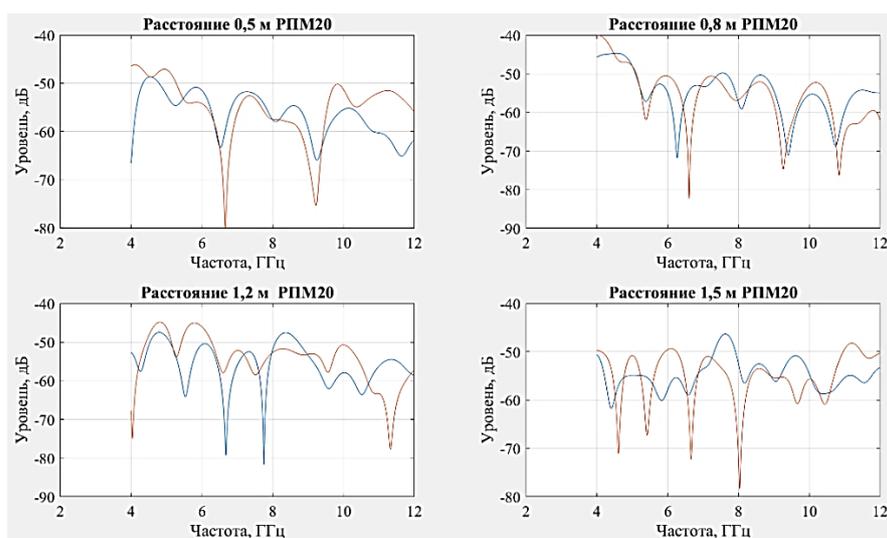


Рис. 10. Значения МКО в зависимости от частоты для РПМ Штиль-100 К20

Далее было выполнено усреднение результатов по дальности, результаты представлены на рис. 11 и 12.

На нижних графиках представлены максимальные отклонения значений МКО между двумя антеннами. Из графиков видно, что на уровне -55 дБ для РПМ Emerson VHP4 максимальное отклонение между значениями составляет 4 дБ, а для РПМ Штиль-100 К20 — 8 дБ.

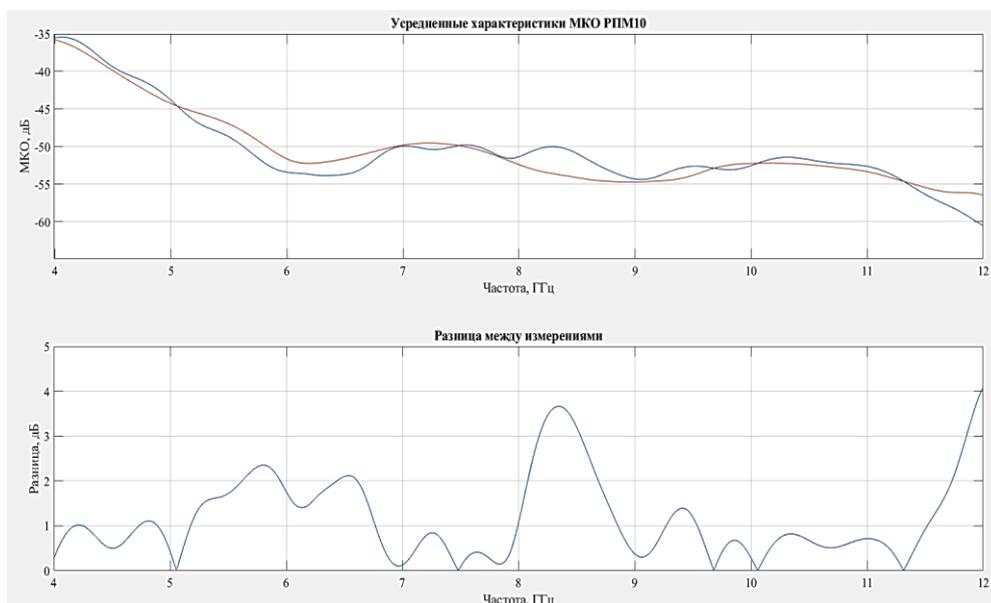


Рис. 11. Усреднённые значения МКО для РПМ Emerson VHP4

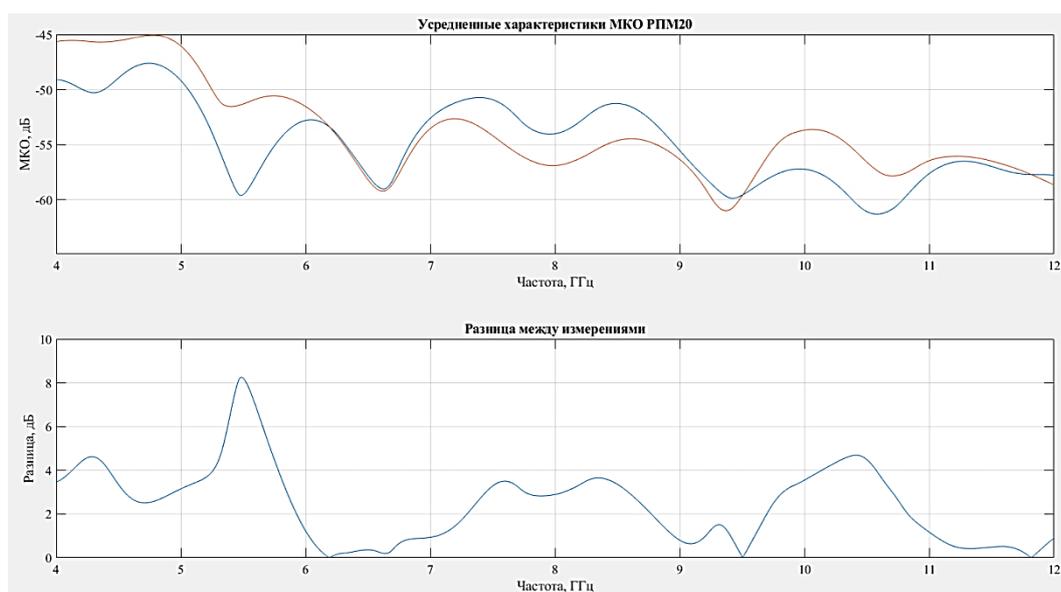


Рис. 12. Усреднённые значения МКО для РПМ Штиль-100 К20

Таким образом, проведённый эксперимент показал, что на результаты измерений МКО пирамидальных РПМ в свободном пространстве значительное влияние оказывают условия этих измерений, а именно: электрические размеры антенн, ширина диаграмм направленности, расстояние до образца, а также высота и ширина пирамид самого РПМ.

Экспериментально доказано, что усреднение по расстоянию позволяет значительно увеличить точность измерения коэффициента отражения РПМ и уменьшить влияние вышеперечисленных факторов.

Список литературы

1. Hofmann W., Bornkessel C., Schwind A., Hein M.A. Challenges of RF Absorber Characterization: Comparison Between RCS- and NRL-Arch-Methods // International Symposium on Electromagnetic Compatibility — EMC EUROPE, 2019. — P. 370–375.
2. Anyutin N., Malay I., Titarenko A., Malyshev A. Synthesis of Reflectivity Measurement Conditions for Pyramidal Radio Absorbing Materials in Free Space // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). — 2018. — P. 1–4.

Статья поступила в редакцию: 18.10.2021 г.

Статья прошла рецензирование: 25.10.2021 г.

Статья принята в работу: 28.10.2021 г.