

УДК 677.025.6:537.311.4

**ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ  
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРИКОТАЖА ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ГЛАДЬ  
И ДИАМЕТРА МИКРОПРОВОЛОК  
НА ЕГО РАДИООТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА  
ПРИ РАЗНЫХ РАЗМЕРАХ ЯЧЕЕК  
ПО ВЕРТИКАЛИ И ГОРИЗОНТАЛИ**

*Л.А. КУДРЯВИН, О.Ф. БЕЛЯЕВ, В.А. ЗАВАРУЕВ*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Ранее в [1] нами рассмотрено влияние контактных сопротивлений между элементами структуры металлического трикотажа на его радиоотражающие свойства при одинаковых размерах ячеек по вертикали и горизонтали.

В настоящей статье рассматривается случай с разными размерами ячеек по вертикали и горизонтали, а также влияние на радиоотражающие свойства металлического трикотажа диаметра микропроволок. При исследовании использовали геометрическую модель трикотажа, показанную на рис. 1 из [1]. Направим ось  $X$  по горизонтали (в направлении петельных рядов), ось  $Y$  – по вертикали (в направлении петельных столбиков). Как и ранее, средний размер ячейки в направлении оси  $X$  обозначим через  $a$ , а в направлении оси  $Y$  – через  $b$ .

Будем рассматривать положение, когда электромагнитная волна падает нормально поверхности сетеполотна. Для расчета коэффициента отражения используем формулы, приведенные в [1]. Так же, как и ранее, в качестве коэффициента отражения будем использовать отношение интенсивности отраженной волны к интенсивности падающей.

Расчеты будем проводить для сетеполотен, изготовленных из микропроволоки диаметрами 50 и 15 мкм как покрытой, так и не покрытой никелем. Выбор стальной микропроволоки обусловлен необходимостью получения заданных физико-механических свойств сетки. Ниже приводятся результаты расчетов при длине волны падающего электромагнитного излучения, составляющей 2 см (частота 15 ГГц).

Как показали измерения, электрическое сопротивление 1 пог. м микропроволоки диаметром 50 мкм составляет 400 Ом, а микропроволоки 15 мкм – 4440 Ом. Контактное сопротивление между элементами структуры в зависимости от натяжения микропроволоки в сетеполотне менялось в пределах от (15...20) Ом [при натяжениях (0,01...0,02) Н] до (2...3) Ом [при натяжениях (0,15...0,20) Н].

Для уменьшения контактного сопротивления микропроволоку покрывали никелем. При этом физико-механические свойства микропроволоки практически не менялись, а контактное сопротивление уменьшалось существенно – оно составило (3...4) Ома при натяжении микропроволоки (0,01...0,02) Н и десятые доли Ома при натяжении (0,15...0,20) Н.

В дальнейшем с целью выявления влияния контактного сопротивления на коэффициент отражения будем рассматри-

вать два крайних случая – контактное сопротивление, равное нулю, и контактное сопротивление, равное 20 Ом.

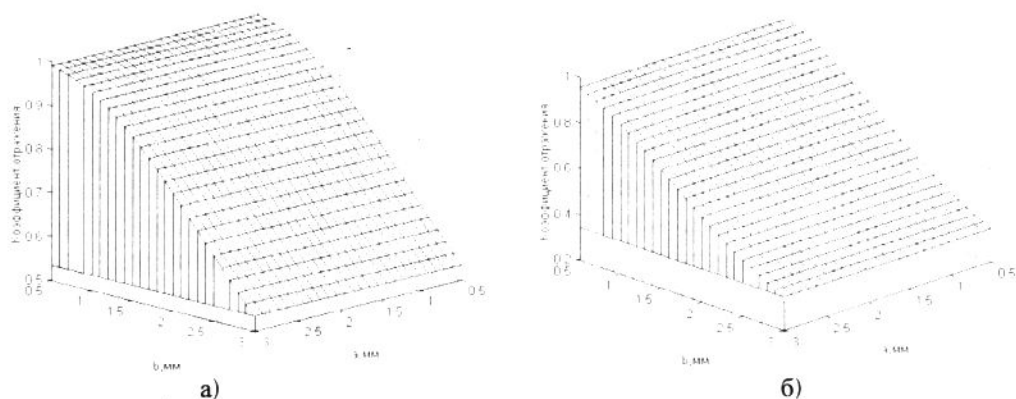


Рис. 1

На рис.1-а и б представлены зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны от размера ячеек  $a$  и  $b$  сетки при контактном сопротивлении между элементами петельной структуры, равном нулю, и при диаметре микропроводок 50 мкм (рис. 1-а) и 15 мкм (рис. 1-б). В обоих случаях вектор  $E$  в падающей электромагнитной волне колеблется вдоль петельных рядов (вдоль оси  $X$  – вдоль горизонтали). Если вектор  $E$  колеблется вдоль столбиков (вдоль оси  $Y$  – вдоль вертикали), то получаются точно такие же графики, только на месте размера ячеек  $a$  будет стоять  $b$  и наоборот.

Из рис. 1 видно, что при колебаниях вектора  $E$  вдоль петельных рядов коэффициент отражения довольно быстро увеличивается с уменьшением размера ячейки  $b$  и не зависит от размера ячейки  $a$ . Аналогично при колебаниях вектора  $E$  вдоль петельных столбиков коэффициент отражения увеличивается с уменьшением размера  $a$  ячейки, но не меняется при изменении размера ячейки  $b$ .

Таким образом, при отсутствии контактных сопротивлений коэффициент отражения зависит только от одного размера ячейки – размера  $b$  в направлении, перпендикулярном направлению колебаний вектора  $E$ .

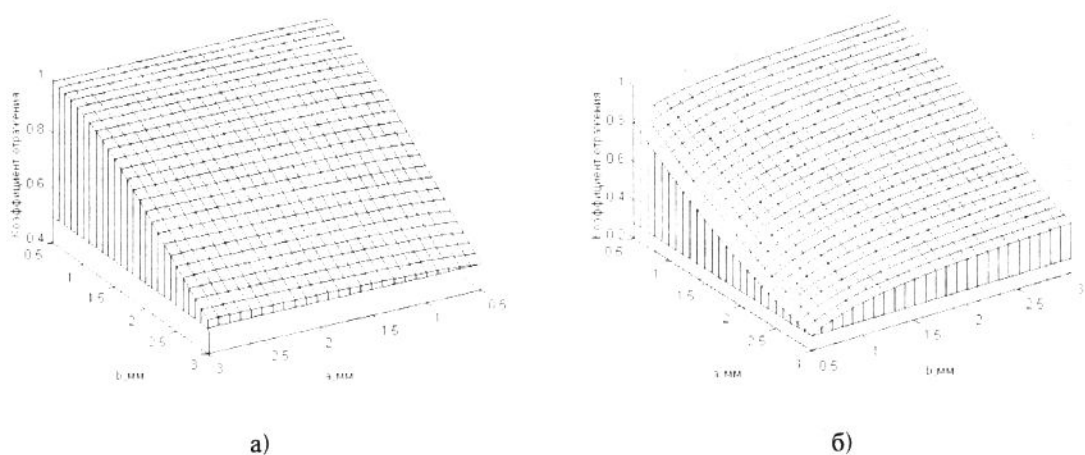


Рис. 2

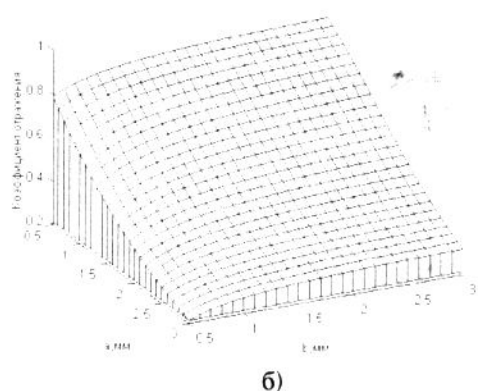
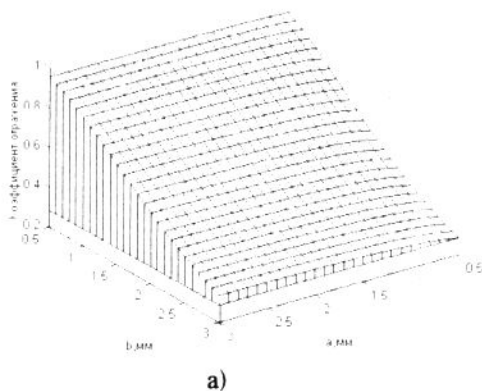


Рис. 3

На рис. 2 и 3 изображены зависимости коэффициента отражения от размеров ячеек  $a$  и  $b$  для сетеполотен из микропроводов диаметрами 50 мкм (рис.2) и 15 мкм (рис.3) при контактном сопротивлении, равном 20 Ом. На рис.2-а и 3-а вектор  $E$  в падающей электромагнитной волне колеблется вдоль петельных рядов, а на рис. 2-б и 3-б – вдоль петельных столбиков.

Сопоставляя рис. 2,3 и рис.1, отмечаем, что наличие контактного сопротивления приводит к зависимости коэффициента отражения уже от обоих размеров ячейки – как от размера ячейки вдоль направления колебаний вектора  $E$ , так и от размера ячейки в поперечном к этому направлению. При этом нужно обратить внимание на следующее:

1) если колебания вектора  $E$  происходят вдоль петельных рядов (рис.2-а, 3-а), коэффициент отражения, как и при нулевом контактном сопротивлении, увеличивается с уменьшением размера  $b$  ячейки, но значение коэффициента отражения несколько меньше. При этом в отличие от случая с нулевым контактном сопротивлением он зависит от размера ячейки  $a$ , увеличиваясь с его увеличением;

2) при колебаниях вектора  $E$  вдоль петельных столбиков (рис.2-б, 3-б) коэффициент отражения, опять как и при нулевом контактном сопротивлении, увеличивается с уменьшением размера  $a$  ячейки, но снова медленнее, чем при нулевом контактном сопротивлении. При увеличении размера ячейки  $b$  он увеличивается, что не наблюдается при нулевом контактном сопротивлении.

Такое поведение коэффициента отражения связано со следующим. Падающая электромагнитная волна возбуждает токи в проводниках, идущих в направлении колебаний вектора  $E$ . Эти токи приводят к появлению отраженной волны. Чем больше суммарный ток, текущий по этим проводникам, тем больше интенсивность отраженной волны, тем больше коэффициент отражения. Суммарный ток, идущий по таким проводникам, тем больше, чем больше проводников идет в направлении колебаний вектора  $E$ , то есть чем меньше расстояние между такими проводниками (оно определяется размером ячейки в направлении, перпендикулярном направлению колебаний вектора  $E$ ). Вследствие этого уменьшение размера ячейки в направлении, перпендикулярном направлению колебаний вектора  $E$ , должно приводить к увеличению общего тока в направлении колебаний вектора  $E$  и, следовательно, к увеличению коэффициента отражения, что мы и получили в случае отсутствия контактных сопротивлений.

Ток, текущий по проводникам, зависит и от общего электрического сопротивления проводника: чем оно меньше, тем больше ток, тем больше коэффициент отражения. Сопротивление проводника складывается из сопротивления материала проводника и из контактного сопротивления между элементами структуры. Чем меньше размер ячейки, тем больше на единице длины проводника встречается контактов между элементами структуры, тем больше контактное сопротивление; тем меньше ток, тем меньше коэффициент отражения.

Это объясняет уменьшение коэффициента отражения при появлении контактного сопротивления, а также увеличение коэффициента отражения с увеличением размера ячейки в направлении колебаний вектора  $E$ . Действительно, в этом случае увеличение размера ячейки уменьшает вклад контактных сопротивлений в общее сопротивление микропроволоки, в результате уменьшается общее сопротивление микропроволоки, увеличивается ток и увеличивается коэффициент отражения.

Рассмотрим влияние на коэффициент отражения диаметра проводников.

Сопоставляя рис. 1-а и 1-б, а также рис. 2 и 3, видим, что уменьшение диаметра проводников при малых размерах ячеек слабо сказывается на коэффициенте отражения, а при больших – существенно уменьшает его.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании радиоотражающей поверхности складных антенн из металлического кулирного трикотажа, а также для прогнозирования поведения металлических трикотажных сетчатых полотен, изготовленных из других видов трикотажа, при изменении в них размера ячеек, диаметра проводников и контактных сопротивлений.

1. Установлено, что при отсутствии контактных сопротивлений между элементами структуры коэффициент отражения зависит только от одного размера ячейки – размера в направлении колебаний вектора  $E$ . С уменьшением размера ячейки коэффициент отражения увеличивается.

2. Показано, что наличие контактного сопротивления между элементами структуры приводит к сложной зависимости коэффициента отражения уже от обоих размеров ячейки – как от размера ячейки вдоль направления колебаний вектора  $E$ , так и от размера ячейки в поперечном к этому направлению. При уменьшении размера ячейки коэффициент отражения в зависимости от условий может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Уменьшение диаметра проводника, из которого изготовлена сетка, приводит к уменьшению коэффициента отражения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявин Л.А., Заваруев В.А., Беляев О.Ф. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №4. С.61...65.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 03.10.03.