

УДК 621.396

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

А.И. КОЗЛОВ, В.Ю. МАСЛОВ

Предлагается метод определения диэлектрической проницаемости поверхностей в оптическом диапазоне. Для этого достаточно сфотографировать исследуемую поверхность при естественном освещении на цифровой фотоаппарат, используя ортогональные поляризационные фильтры, а затем соответствующим образом обработать полученные изображения.

**Ключевые слова:** поляризационная обработка оптических сигналов, диэлектрическая проницаемость.

Целью дистанционного зондирования является определение физических, механических, химических и других свойств окружающей среды. Эти характеристики связаны с геометрическими параметрами и комплексной диэлектрической проницаемостью  $\underline{\varepsilon}$  исследуемых объектов, знание которой открывает возможности определения основных электрофизических и химических характеристик наблюдаемых объектов. Один из методов решения этой задачи приведен в [1], где показано, что при отражении радиоволн от достаточно гладких поверхностей путем проведения относительных измерений напряжений в ортогональных каналах приемного устройства можно определять значение комплексной диэлектрической проницаемости достаточно широкого класса подстилающих поверхностей. С этой целью необходимо вычислить отношение амплитуд напряжений в соответствующих каналах и найти разность фаз между этими напряжениями. Это дает возможность определить основную характеристику для этого метода - поляризационное отношение  $\underline{f}$ , модуль которого равен отношению напряжения в канале, который осуществляет прием вертикальной составляющей отраженной радиоволны, к аналогичному напряжению в канале, осуществляющем прием горизонтальной составляющей. Аргументом параметра  $\underline{f}$  является разность фаз  $\delta$  между соответствующими каналами.

Коэффициенты Френеля для подстилающей поверхности с комплексной диэлектрической проницаемостью  $\underline{\varepsilon}$ , облучаемой под углом  $\theta$ , имеют вид:

$$\text{- для горизонтальной поляризации - } \underline{R}_{HP} = \left( \cos \theta - \sqrt{\underline{\varepsilon} - \sin^2 \theta} \right) / \left( \cos \theta + \sqrt{\underline{\varepsilon} - \sin^2 \theta} \right);$$

$$\text{- для вертикальной поляризации - } \underline{R}_{VP} = \left( \underline{\varepsilon} \cos \theta - \sqrt{\underline{\varepsilon} - \sin^2 \theta} \right) / \left( \underline{\varepsilon} \cos \theta + \sqrt{\underline{\varepsilon} - \sin^2 \theta} \right), \text{ а}$$

поляризационное отношение  $\underline{f}$  будет равно  $\underline{f} = \underline{R}_{VP} / \underline{R}_{HP} = |\underline{f}| e^{i\delta}$ .

Используя приведенные соотношения, можно получить формулу для комплексной диэлектрической проницаемости [1]  $\underline{\varepsilon} = \left\{ 1 + \left[ \operatorname{tg} \theta (1 - i \underline{f}) / (1 + i \underline{f}) \right]^2 \right\} \sin^2 \theta$ .

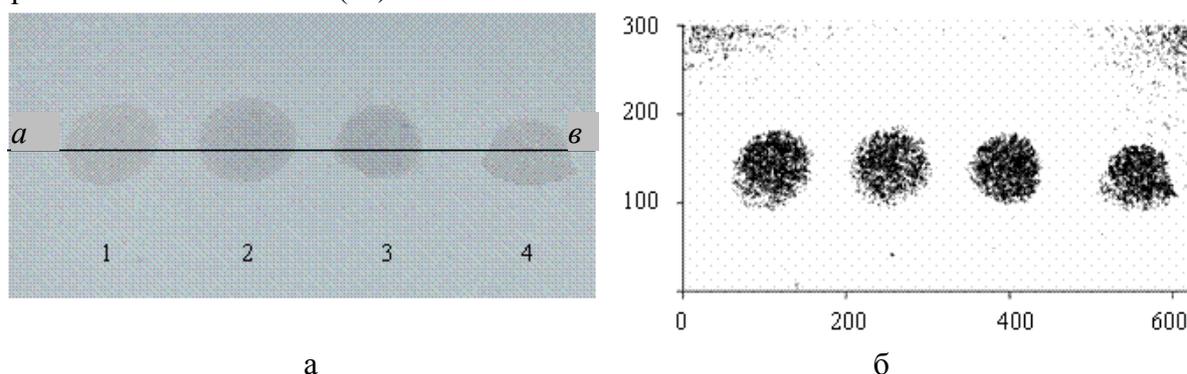
Как видно, параметр  $\underline{f}$ , характеризующий поляризацию отраженной радиоволны, однозначно определяет комплексную диэлектрическую проницаемость  $\underline{\varepsilon} = \varepsilon' - i\varepsilon''$ .

Для идеального диэлектрика ( $\varepsilon = \varepsilon'$ ) формула упрощается, и по знанию модуля  $|\underline{f}|$  можно найти искомое  $\varepsilon' = \left\{ 1 + \left[ \operatorname{tg} \theta (1 - i|\underline{f}|) / (1 + i|\underline{f}|) \right]^2 \right\} \sin^2 \theta$ .

Рассмотрим практическую возможность методики нахождения диэлектрической проницаемости, рассмотренной в [1] в радиодиапазоне, для ее использования в оптическом диапазоне. В том случае при освещении поверхности исследуемого диэлектрического объекта

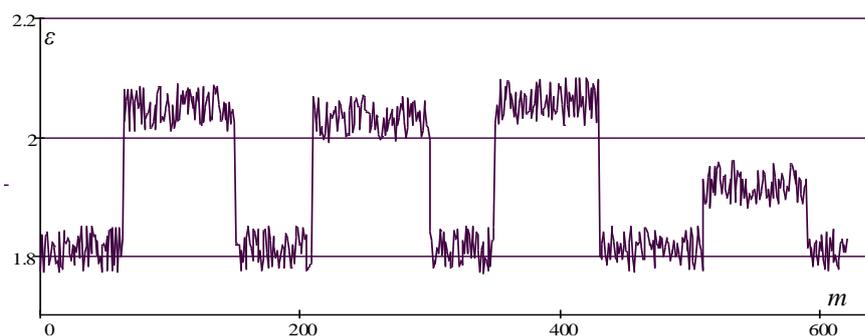
естественным неполяризованным светом происходит поляризация отраженного света. Если сфотографировать исследуемую поверхность при естественном освещении на цифровой фотоаппарат, используя ортогональные поляризационные фильтры, то можно найти отношения амплитуд для ортогональных поляризаций отраженного света в различных точках поверхности, т.е. определить в этих точках модули поляризационного отношения. Значения диэлектрической проницаемости в искомым точках поверхности находятся по приведенной выше формуле.

На рис. 1а приведена фотография исследуемых пятен подсолнечного масла, вазелинового масла, касторового масла и раствора глицерина на поверхности бумаги. Разрешение фотографии составляет 640 на 300 пикселей. Значения диэлектрической проницаемости можно найти одновременно во всех точках (рис. 1б). Однако для большей наглядности представления результатов удобнее исследуемые точки  $m_i$  ( $0 \leq i \leq 600$ ) располагать вдоль линии. На рис. 1 эти точки расположены на линии (ав).



**Рис. 1.** А - фотография пятен: 1 - подсолнечного масла; 2 - вазелинового масла; 3 - касторового масла; 4 - раствора глицерина на поверхности бумаги; б - поверхностное распределение пикселей с различными значениями диэлектрической проницаемости для красного спектрального диапазона

На рис. 2 приведен график значений диэлектрической проницаемости исследуемых точек вдоль линии (ав) для красного спектрального диапазона. Хаотическое поведение кривой связано с шероховатостью поверхности бумаги, которая заметна на фотографии рис. 1. Шероховатость поверхности приводит к хаотическому изменению величины угла  $\theta$  и соответственно к флуктуации искомой величины  $\epsilon$ .



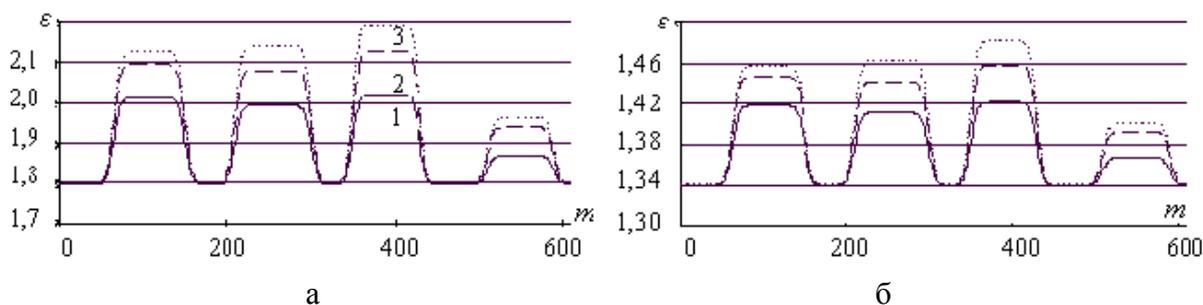
**Рис. 2.** График значений диэлектрической проницаемости исследуемых точек вдоль линии (ав) для красного спектрального диапазона

На рис. 3а приведен график сглаженных значений диэлектрической проницаемости исследуемых точек вдоль линии (ав) для красного, зеленого и синего спектральных диапазонов. Для получения точного значения искомой величины необходимо провести калибровку аппаратуры по образцу с известной величиной диэлектрической проницаемости [2]. Поэтому на рис. 2 основной смысл имеет не абсолютное значение величины  $\epsilon$ , а ее относительное изменение и зависимость от спектрального диапазона.

На рис. 3б показан график сглаженных значений действительной части комплексной диэлектрической проницаемости исследуемых точек вдоль линии (ав) для различных спектральных диапазонов.

Таким образом, представленные соотношения и приведенные иллюстрации показывают возможность практического использования в оптическом диапазоне методики нахождения величины диэлектрической проницаемости плоских поверхностей, которые были разработаны для радиодиапазона [1].

Коэффициент преломления и диэлектрическая проницаемость связаны известным соотношением  $\varepsilon = n^2$ .



**Рис. 3.** График сглаженных значений: а - диэлектрической проницаемости исследуемых точек вдоль линии (ав) для: 1 - красного; 2 - зеленого; 3 - синего спектральных диапазонов; б - показателя преломления исследуемых точек вдоль линии (ав) для: 1 - красного; 2 - зеленого; 3 - синего спектральных диапазонов

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Кн. 2. Радиолокационная поляриметрия. – М.: Радиотехника, 2007.
2. Козлов А.И., Маслов В.Ю. Численный метод определения неоднородной комплексной диэлектрической проницаемости плоской поверхности объектов по поляризационной структуре поля отраженной электромагнитной волны // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 179.
3. Физические величины: справочник / под. ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

#### REMOTE SENSING OF DIELECTRIC PERMEABILITY OF SURFACES IN OPTICAL RANGE

Kozlov A.I., Maslov V.Yu.

The article offers a method to determine the dielectric penetrability of surfaces in optic diapason. To do that it is necessary to take pictures of the studied surface with digital camera at day light, using orthogonal polirization filters then to treat the pictures obtained as prescribed.

**Keywords:** polirization treatment of optic signals, dielectric penetrability.

#### Сведения об авторах

**Козлов Анатолий Иванович**, 1939 г.р., окончил МФТИ (1962), профессор, доктор физико-математических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Академии транспорта РФ и Международной академии информатизации, Соросовский профессор, профессор кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор более 320 научных работ, область научных интересов - радиофизика, радиополяриметрия, радиолокация.

**Маслов Виктор Юрьевич**, 1945 г.р., окончил МГУ им. М.В. Ломоносова (1968), доктор технических наук, профессор МГТУ МИРЭА, автор более 80 научных работ, область научных интересов - радиофизика, радиолокация, радиополяриметрия.