

## О дистанционном определении комплексной диэлектрической проницаемости методами радиополяриметрии

И.В. Автин

*Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), г. Москва, e-mail: [igarrykavt@gmail.com](mailto:igarrykavt@gmail.com)*

*Предлагается рассмотреть дистанционный метод определения комплексной диэлектрической проницаемости путем проведения относительных измерений напряжений в ортогональных каналах приемного устройства.*

*It is proposed to consider a remote method for determining the complex permittivity by carrying out relative voltage measurements in the orthogonal channels of the receiving device.*

Мониторинг поверхности является одной из наиболее важных задач дистанционного зондирования. Полученные при этом данные используются как при решении задач определения физического состояния как естественных подстилающих покровов (поверхность земли, моря и реки, леса, торфяники, ледовые покрытия и т.д.), так и поверхностей антропогенного характера (зоны аэропортов, дорожные покрытия, ландшафт в промышленных и жилых зонах и т.п.) Самостоятельное значение имеет задача определения уровня загрязнения окружающей среды. Большое будущее за дистанционным зондированием открывается при зондировании поверхностей планет и различных космических объектов.

Существует множество методов классификации объектов мониторинга подстилающих покровов и объектов деятельности человека. В основе этих классификаций лежат различные геометрические, физические, функциональные и другие признаки и назначения объектов исследования.

В качестве инструментов дистанционного зондирования выступают геофизические, электрофизические, оптические, акустические и другие методы.

Ниже рассматриваются некоторые возможности, которые открывают методы радиополяриметрии при решении задач дистанционного зондирования.

При использовании дистанционных радиофизических методов в задачах мониторинга окружающей среды центральное место принадлежит решению задачи определения её электрофизических характеристик, т.е. определение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , проводимости  $\sigma$  и магнитной проницаемости  $\mu$ , поскольку именно эти три характеристики в соответствии с Максвелловской теорией поля являются полными характеристиками любого исследуемого объекта. (в рассматриваемом методе  $\mu$  считается равной 1, а вопросы магнитной анизотропии не затрагиваются).

Это определяет то, что классификация окружающей среды при радиофизических методах сводится к определению  $\epsilon$  и  $\sigma$ , которые являются основой определения классов объектов мониторинга. В практической электродинамике, как правило,  $\epsilon$  и  $\sigma$  рассматриваются в качестве составляющих одной характеристики – комплексной диэлектрической проницаемости  $\dot{\epsilon} = \epsilon + i \frac{4\pi\sigma}{\omega} = \epsilon' + \epsilon''$ .

Один из методов решения задачи дистанционного зондирования подстилающих покровов приведен в [1], где показано, что при отражении зондирующих волн от достаточно гладких поверхностей и достаточно широкого круга негладких и шероховатых поверхностей путем проведения относительных измерений напряжений в ортогональных каналах приемного устройства можно определять значение комплексной диэлектрической проницаемости достаточно широкого класса

подстилающих покровов используя только отношение амплитуд  $f$  и разности фаз  $\delta$  сигналов в ортогональных каналах приемника. При решении задач дистанционного зондирования, как показано в [2], целесообразно использовать вместо  $f$  и  $\delta$ , так называемое поляризационное отношение  $\dot{f}$ , представляющее собой комплексную величину, объединяющую обе характеристики и равную  $\dot{f} = |f| e^{i\delta}$ .

В случае достаточно гладких поверхностей отношение принимаемых сигналов в ортогональных каналах представляет собой отношение Френелевских коэффициентов отражения на вертикальной  $R_{vp}$  и горизонтальной  $R_{hp}$  поляризациях, т.е.

$$\dot{f} = \frac{R_{vp}}{R_{hp}} = \left| \frac{R_{vp}}{R_{hp}} \right| e^{i\delta}, \text{ где}$$

$$R_{vp} = \frac{\dot{\epsilon} \cos(\theta) - \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2(\theta)}}{\dot{\epsilon} \cos(\theta) + \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2(\theta)}};$$

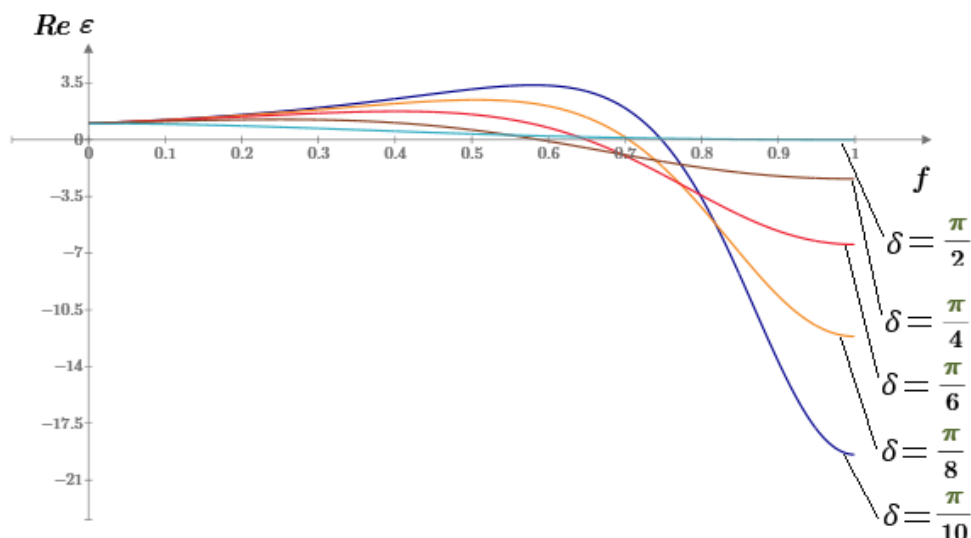
$$R_{hp} = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2(\theta)}}{\cos(\theta) + \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2(\theta)}};$$

Модуль поляризационного отношения  $\dot{f}$  определяется отношением напряжения в канале, осуществляющем приём вертикально-поляризованной составляющей, к напряжению в канале, осуществляющем приём горизонтально-поляризованной составляющей. Аргументом  $\dot{f}$  является разность фаз  $\delta$  между сигналами в соответствующих каналах.

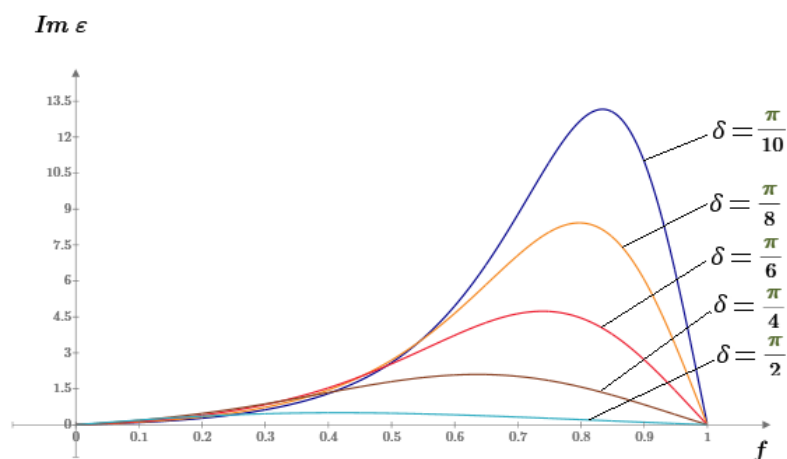
Использование выше представленных соотношений приводит к следующей формуле [3]:

$$\dot{\epsilon} = \left[ 1 + \frac{4\dot{f}}{(1 - \dot{f})^2} \sin^2(\theta) \right] \tan^2(\theta);$$

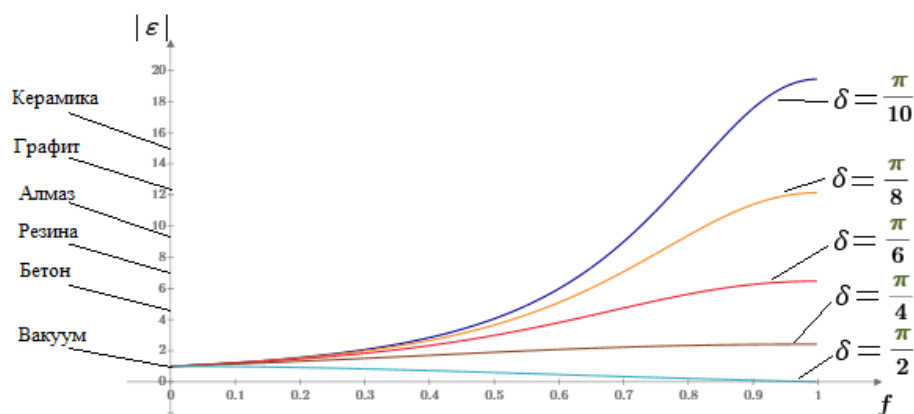
На рисунках 1 – 3 представлены зависимости действительной, мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости, а также её модуля от модуля фазового соотношения  $f$  для различных значений фазового сдвига напряжения в ортогональных каналах.



**Рис. 1. Зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от модуля фазового соотношения для различных значений фазового сдвига напряжения в ортогональных каналах**



**Рис. 2. Зависимость мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости от модуля фазового соотношения для различных значений фазового сдвига напряжения в ортогональных каналах**



**Рис. 3. Зависимость модуля комплексной диэлектрической проницаемости от модуля фазового соотношения для различных значений фазового сдвига напряжения в ортогональных каналах**

Как видно из представленных зависимостей, расчетное значение диэлектрической проницаемости в сильной степени зависит от отношения амплитуд напряжений принятой радиоволны в ортогональных каналах приёмника  $f$  и разности фаз между этими каналами  $\delta$ . Также, любому типу подстилающих покровов можно в соответствие поставить определенное амплитудно-фазовое соотношение.

Таким образом предложенный дистанционный метод определения комплексной диэлектрической проницаемости открывает дополнительные возможности к решению задач мониторинга подстилающих покровов.

### Литература

1. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. – М.: Радиотехника, 2008.
2. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2005.
3. Козлов А.И., Логвин А.И, Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиолокационная поляриметрия. – М.: Радиотехника, 2007.
4. В.В. Богородский, Д.Б. Канарейкин, А.И. Козлов. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. Ленинград “Гидрометеиздат”, 1981.