

УДК 551.501.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ИНТЕГРАЛА В МОДЕЛЯХ РЭЛЕЕВСКОГО РАССЕЯНИЯ

С.Ф. КОЛОМИЕЦ, А.Г. ГОРЕЛИК

В статье предлагается один из возможных вариантов использования концепции классической корреляции в моделях рассеяния на метеообразованиях. Это открывает широкие возможности учета взаимодействия периодической структуры падающего излучения со случайной дискретной структурой распределенных точечных рассеивателей. Особенность результатов настоящей статьи в том, что они могут быть достаточно просто проверены с использованием имеющихся экспериментальных данных.

Ключевые слова: модели рассеяния, флуктуация, метеорологические цели, обратное рассеяние.

Введение

В зависимости от поставленных целей при описании физических свойств среды используются два подхода: «сплошной среды» и «корпускулярных статистик», что породило два типа методик измерений, как правило, слабо связанных между собой, в частности, это относится к методикам и технике дистанционного зондирования.

Однако зондирование таких объектов, как метеоцели, которые могут одновременно содержать разные виды частиц с различными распределениями по размерам при относительно высокой изменчивости всех этих параметров во времени и пространстве. Полноценные методики их зондирования требуют использования большого количества информационных параметров, оперативно измеряемых прямо внутри рассеивающего объема, а не заявленных априори перед началом измерительного сеанса. Получить эти параметры оперативно можно только на базе синхронных многоволновых измерений на частотах, которые значительно разнесены друг относительно друга, что представляет значительные технические трудности, а поэтому решения этих проблем нужно искать на путях использования «тонких эффектов рассеяния Рэлея». Стандартный подход к использованию таких эффектов объявляет их бесперспективными в силу грубой аппроксимации рэлеевского подхода [1; 2].

Ниже описывается использование концепции классической корреляции в отношении дискретных точечных процессов, предложенных в [3-5]. Это открывает широкие возможности учета взаимодействия *периодической структуры падающего излучения со случайной дискретной структурой* распределенных точечных рассеивателей. Особенность результатов настоящей статьи состоит в том, что они могут быть достаточно просто проверены с использованием имеющихся экспериментальных данных.

Корреляционный интеграл для существенно неординарных точечных процессов

В терминах моделей [3-5] флуктуация диэлектрической проницаемости ϵ определяется через кратные точки случайных потоков. Рассмотрение флуктуаций с точки зрения неординарных случайных точечных процессов позволило качественно описать основные ожидаемые статистические закономерности и с учетом геометрии сформулировать границы применимости хорошо известных зависимостей, справедливых для рэлеевского рассеяния.

Однако те же самые процессы могут быть рассмотрены и в рамках импульсных случайных процессов, что позволяет обойти имеющиеся математические трудности описания корреляционных свойств указанных неординарных точечных процессов. Последние необходимы для учета периодической структуры падающего зондирующего излучения.

В одномерных моделях частицу можно представить в виде импульса, величина которого

определяется её рассеивающими свойствами, а длительность – размером. Итак, в случае неординарных потоков формируется импульсный процесс с функцией корреляции $C(l) = kd \exp(-d/l)$, где d – размер частицы; k – некоторый коэффициент.

Таким образом, налицо случайный процесс флуктуаций ε в пространстве, непрерывность которого более вероятна в случае достаточного количества кратных точек. ε , помимо непосредственно концентрации, определяется ещё и поперечным к направлению распространения излучения масштабом рассеивающего объема [3-5].

Дистанция корреляции такого процесса совпадает с диаметром частицы (в случае распределения частиц по размерам – среднему диаметру частицы). Таким образом, флуктуации ε в рассеивающих средах, которые сформированы различными (по размерам) частицами, будут в соответствии с рассматриваемой моделью разными. Наличие конечной дистанции корреляции можно рассматривать как основание для введения усреднения по пространству, неизбежность которого была с использованием иных подходов аргументирована в [3-5].

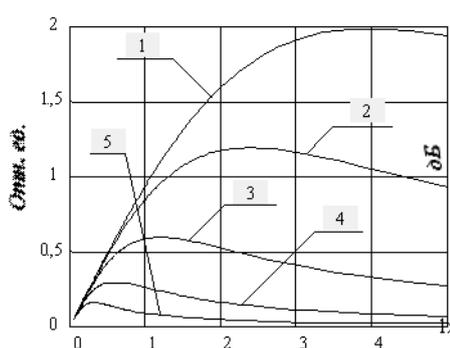


Рис. 1. Значение корреляционного интеграла в относительных единицах для различных диаметров частиц d и длин волн зондирующего излучения λ : 1 – 10 см; 2 – 6 см; 3 – 3 см; 4 – 1,5 см; 5 – 0,8 см

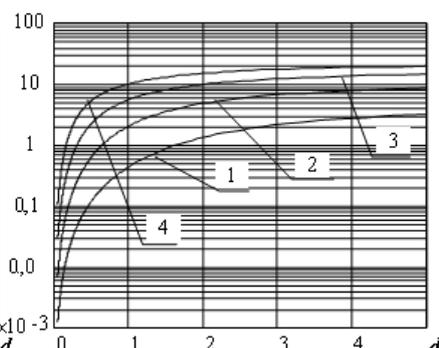


Рис. 2. Отношение корреляционных интегралов, без учета резонансных эффектов при различных λ : 1 – 10/6 см; 2 – 10/3 см; 3 – 10/1,5 см; 4 – 10/0,8 см

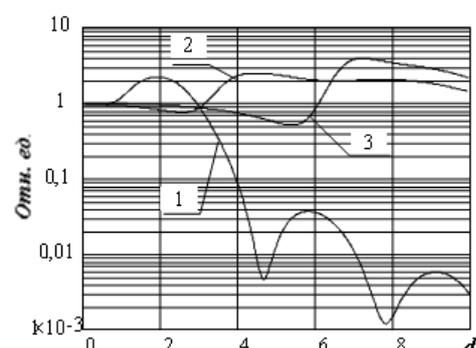


Рис. 3. Коэффициент β , показывающий изменение поперечного сечения рассеяния частицы диаметра d с учетом резонансных эффектов M_i по сравнению с её геометрическим поперечным сечением при различных λ : 1 – 0,8 см; 2 – 3 см; 3 – 6 см

В целом, если процесс можно считать непрерывным, то нет оснований, препятствующих использованию корреляционного интеграла при расчете величины обратного рассеяния:

$$P = kd \int_0^{\infty} \exp(-l/d) \cos(8\pi l/\lambda) dl, \text{ где число 8 вместо 2 в аргументе косинуса указано для учета}$$

удвоения пути и удвоения аргумента при переходе к «корреляции» гармонического сигнала.

Для гармонического сигнала можно говорить лишь о корреляционной функции гармонического заполнения импульса конечной длительности. Ниже этот факт для простоты будет опущен. Будет опущен и анализ интерференционных компенсаций, неизбежность которых была проиллюстрирована в [3-5].

Приведенные графики (рис. 1-3) дают возможность судить о степени влияния резонансных эффектов на значение отношения корреляционных интегралов: для сантиметровых длин волн оно не превышает 1 дБ. В то же время отношение корреляционных интегралов для 10 и 3 см стремится к 10 дБ, принимая значение 2 дБ для капель диаметром 1 мм

и 5 дБ для капель диаметром 2 мм.

Таким образом, если концепции корреляционного интеграла применимы, то хорошо калиброванный радиолокатор будет показывать разные значения мощности поля, рассеянной назад в дождях и облаках, даже на тех длинах волн, которые соответствуют классической рэлеевской дифракции на гидрометеорах.

Выводы

В статье приведены основные составляющие нетермодинамической модели рассеяния на точечных рассеивателях, случайно расположенных и движущихся в пространстве. Представлено обоснование пространственного интервала корреляции, который был оставлен без должного рассмотрения в [3-5].

Правильно калиброванный и юстированный (в смысле совпадения пространственных границ рассеивающих объемов на разных длинах волн) многоволновый инструмент дистанционного зондирования будет регистрировать измеримую разницу в мощностях рассеянного поля даже при использовании двух классических рэлеевских длин волн. Таким образом, среды с «непрерывными» флуктуациями диэлектрической проницаемости, сформированные различными по размеру дискретными частицами, различаются при синхронном двухволновом зондировании.

Представленная модель подразумевает достаточно простую проверку с использованием данных, уже имеющихся в литературе по радиолокационной метеорологии. Этот факт позволяет надеяться на дальнейшее развитие излагаемых авторами концепций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фабелинский И.Л.** Молекулярное рассеяние света. - М.: Высшая школа, 1965.
2. Распространение ультракоротких радиоволн / пер. с англ. / под ред. Б.А. Шиллерова. - М.: Сов. радио, 1954.
3. **Коломиец С.Ф.** Современное состояние моделей рассеяния электромагнитных волн на частицах разреженных сред // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2013. № 189. – С. 104.
4. **Коломиец С.Ф.** Статистический подход к описанию рассеяния электромагнитных волн на частицах разреженных сред // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2013. - № 193.– С. 19.
5. **Gorelik A.G., Kolomiets S.F.** Rayleigh Scattering Revised. Proceedings of the fifth world congress "Aviation in the XXI-st century", V.2 "Safety in Aviation and Space technologies", September 25-27, 2012 Kyiv, Ukraine. pp. 3.7.13-3.7.21.
6. **Горелик Г.С.** К теории рассеяния радиоволн на блуждающих неоднородностях // Радиотехника и электроника. – 1956. - Т. 1. - № 6.
7. **Горелик А.Г., Коломиец С.Ф., Куприянов П.В.** Форма спектра рассеянного поля как источник информации о рассеивающей среде и протекающих в ней динамических процессах // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2012. - № 176. - С. 18.
8. **Большаков И.А.** Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума. – М.: Сов. радио, 1969.
9. **Кузнецов П.И., Стратонович Р.Л.** К математической теории коррелированных случайных точек // Известия АН СССР, серия Математическая. – 1956. - Т. 20.

RAYLEIGH SCATTERING MODELS WITH CORRELATION INTEGRAL

Kolomiets S.F., Gorelik A.G.

This article offers one of possible approaches to the use of the classical correlation concept in Rayleigh scattering models. Classical correlation in contrast to three types of correlations corresponding to stochastic point flows opens the door to the efficient explanation of the interaction between periodical structure of incident radiation and discreet stochastic structure of distributed scatters typical for Rayleigh problems.

Keywords: models of waves scattering, fluctuations, meteorological radar, intensity of backscattering.

Сведения об авторах

Коломиец Сергей Федорович, 1971 г.р., окончил МФТИ (1993), кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры физико-математических проблем волновых процессов МФТИ, автор более 50 научных работ, область научных интересов – радиолокационная метеорология, статистическая радиофизика и электродинамика.

Горелик Андрей Габриэлович, 1931 г.р., окончил ГГУ (1954), профессор, доктор физико-математических наук, профессор МФТИ, автор более 150 научных работ, область научных интересов – дистанционное зондирование атмосферы методами пассивной и активной радио- и оптической локации, обработка сложных сигналов.