

УДК 62-91

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РАДИОЛОКАЦИОННОЙ
ОТРАЖАЕМОСТИ СИГНАЛА МРЛ
В X-ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

Кукареко А. С., Цибрий И. К.

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

kukareko.lesha@yandex.ruirconst@mail.ru

В результате проведенного исследования были получены значения радиолокационной отражаемости сигнала МРЛ X-диапазона частот. Расчёт данной характеристики опирается на значения концентрации частиц в кубическом объеме облака и размере гидрометеоров, являющихся объектом исследования. Результаты, полученные в ходе расчёта, позволяют повысить достоверность результатов измерения при обработке сигнала.

Ключевые слова: гидрометеор, радиолокатор, радиолокационная отражаемость, коэффициент ослабления радиоволн, гамма-функция.

Введение. В настоящее время основной задачей радиометеорологии является получение оптимального значения сигнала после обработки измеряемой величины. Следовательно, основной проблемой, с которой сталкиваются метеорологи, является недостаток данных для получения достоверных результатов измерения при прогнозировании всевозможных погодных явлений.

Следует отметить, что в радиометеорологии наиболее часто применяют X-диапазон частот. Данный диапазон волн является сверхвысокочастотным (СВЧ), длина волны варьируется в пределах 10–100 мм, соответственно частота — от 3 до 30 ГГц. Метеорологические радиолокаторы с длиной волны X-диапазона наиболее чувствительны к мельчайшим телам водной структуры, называемым гидрометеорами [1].

Исходя из вышеизложенного, необходимо повысить достоверность результатов измерения при обработке сигнала, отраженного от гидрометеора, в X-диапазоне частот, в зависимости от концентрации частиц в облаке и их размера. Одной из важнейших характеристик отраженного сигнала является его радиолокационная отражаемость. Цель данной работы — произвести исследование радиолокационной отражаемости сигнала для повышения достоверности результатов измерения при обработке сигнала МРЛ.

Расчёт функции плотности распределения по размерам гидрометеоров. Расчёт данной характеристики зависит от функции распределения гидрометеоров в заданном объеме облака, так как она позволяет рационально понимать физику и динамику облаков. В данном расчёте для определения параметра распределения частиц будет использован закон гамма-распределения.

UDC 62-91

**INVESTIGATION OF RADAR
REFLECTIVITY OF THE WR
SIGNAL ACROSS X-BAND**

Kukareko A. S., Tsibriy I. K.

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

kukareko.lesha@yandex.ruirconst@mail.ru

As a result of the conducted research, the values of radar reflectivity of the WR signal across X-band were obtained. The calculation of this characteristic is based on the values of the concentration of particles in the cubic volume of the cloud and the size of hydrometeors, which are the object of study. The data obtained during the calculation can improve the reliability of the measurement results when processing the signal.

Keywords: hydrometeor, radar, radar reflectivity, attenuation coefficient of radio waves, gamma function.

Уравнение данного закона наиболее точно отражает распределение гидрометеоров по размерам:

$$n(d) = N \frac{b^{m+1}}{\Gamma(m+1)} \frac{d_i^m}{d_3^{m+1}} \exp\left(-b \frac{d_i}{d_3}\right), \quad (1)$$

где N — концентрация облачных частиц,

$\Gamma(m+1)$ — гамма-функция,

d_i — диаметр облачной частицы,

d_3 — среднекубический диаметр облачных частиц, см,

m — параметр формы кривой гамма-распределения,

b — параметр, характеризующий полуширину распределения.

Из соотношения (1) следует, что для вычисления функции распределения облачных частиц по их диаметральным размерам необходимо знать значения концентрации N и гамма-функции $\Gamma(m+1)$. Значение гамма-функции представлено в таблице [2].

В качестве данных о концентрации капель в кубическом объёме облака будут использованы результаты, полученные японской фирмой «Ишикавадзима Харима» в ходе эксперимента о влиянии коронного разряда на плотность тумана [3].

Подставив в формулу (1) полученные данные для расчёта функции распределения облачных частиц, найдём её значение для трёх концентраций: минимальной, средней и максимальной. Размеры частиц варьируются в интервале от 0,1 до 5 мм, с шагом 0,01. Функция плотности распределения даёт представление о том, какие частицы количественно преобладают в кубическом объёме облака при разных их концентрациях. Полученная характеристика представлена на рис. 1.

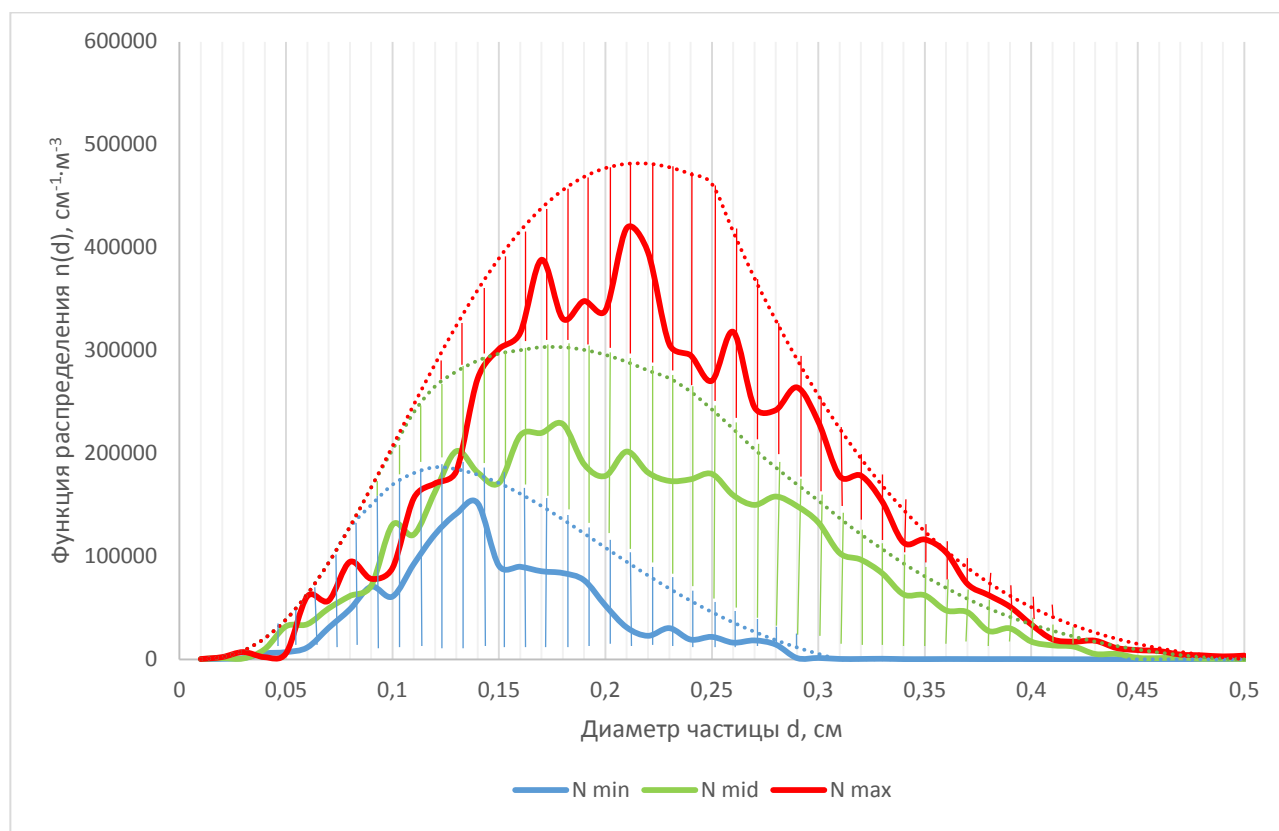


Рис. 1. Функция плотности распределения по размерам гидрометеоров

На графике выделены три области значений плотности распределения для минимального, среднего и максимального значения концентрации частиц. Каждая из областей ограничена линией, в пределах которой находятся случайные значения распределения частиц разного диаметра для каждого значения концентрации, при этом на самой линии расположены максимальные значения частицы определенного диаметра в заданной области концентрации.

Расчёт эффективной отражающей поверхности. Для определения характеристики радиолокационной отражаемости введем понятие эффективной отражающей поверхности гидрометеора ($\sigma_{отр}$). Эта величина подразумевает, что передающий сигнал, проходя через среду, в которой находится гидрометеор, неоднократно отразится от него во все стороны, в том числе в сторону приемной антенны [4].

Для капель воды, по форме близкой к сферической, эффективная отражающая поверхность определяется зависимостью (рис. 2):

$$\sigma_{отр}(d) = \frac{64\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (2)$$

где λ — длина волны,

m — комплексный показатель преломления вещества.

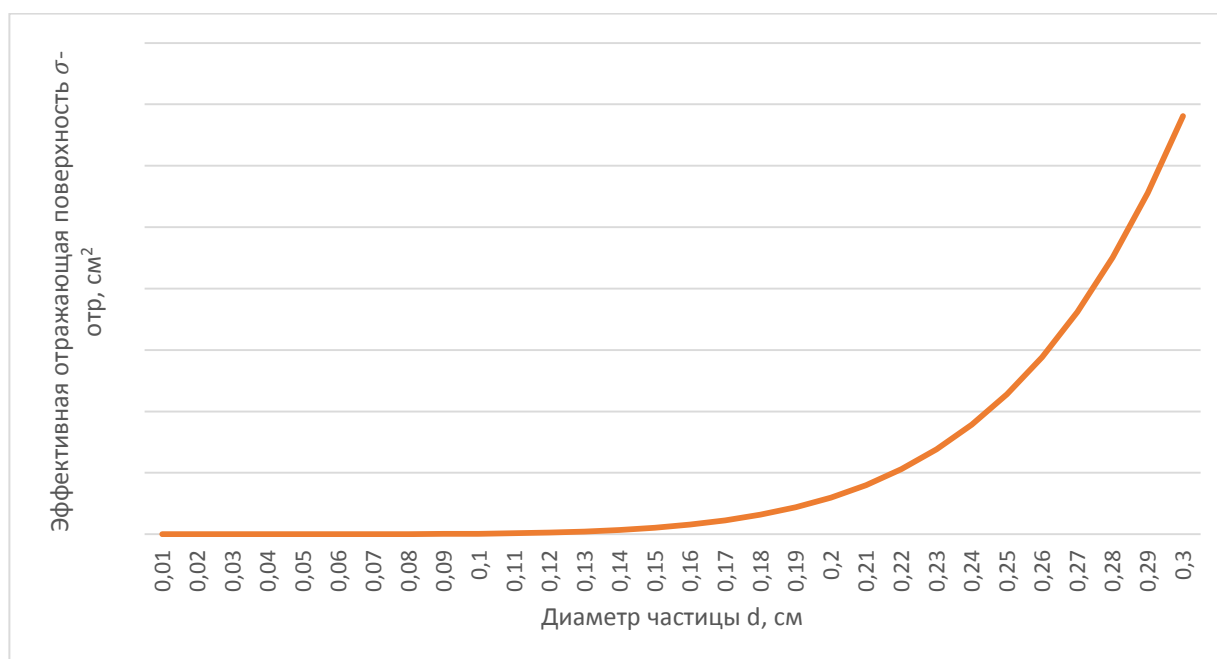


Рис. 2. Зависимость эффективной отражающей поверхности от диаметра гидрометеора

Из полученной зависимости следует, что увеличение размера гидрометеора прямо пропорционально его эффективной отражающей поверхности.

Расчёт радиолокационной отражаемости. Для оценки отражающих свойств сектора облака в радиолокации используют понятие радиолокационной отражаемости (η) [5].

Учитывая полученные значения функций распределения частиц по размерам ($n(d)$) и эффективной отражающей поверхности ($\sigma_{отр}$) гидрометеоров определенного размера, вычислим радиолокационную отражаемость частиц в интервале от 0,01 до 0,5 см по формуле:

$$\eta = 10^{-6} \int_0^{d_{0,5}} n(d) \sigma_{отр}(d) dd. \quad (3)$$

С помощью полученного выражения (3) построим графики зависимости радиолокационной отражаемости от диаметра частицы для трёх концентраций N_{min} , N_{mid} и N_{max} (рис. 3):

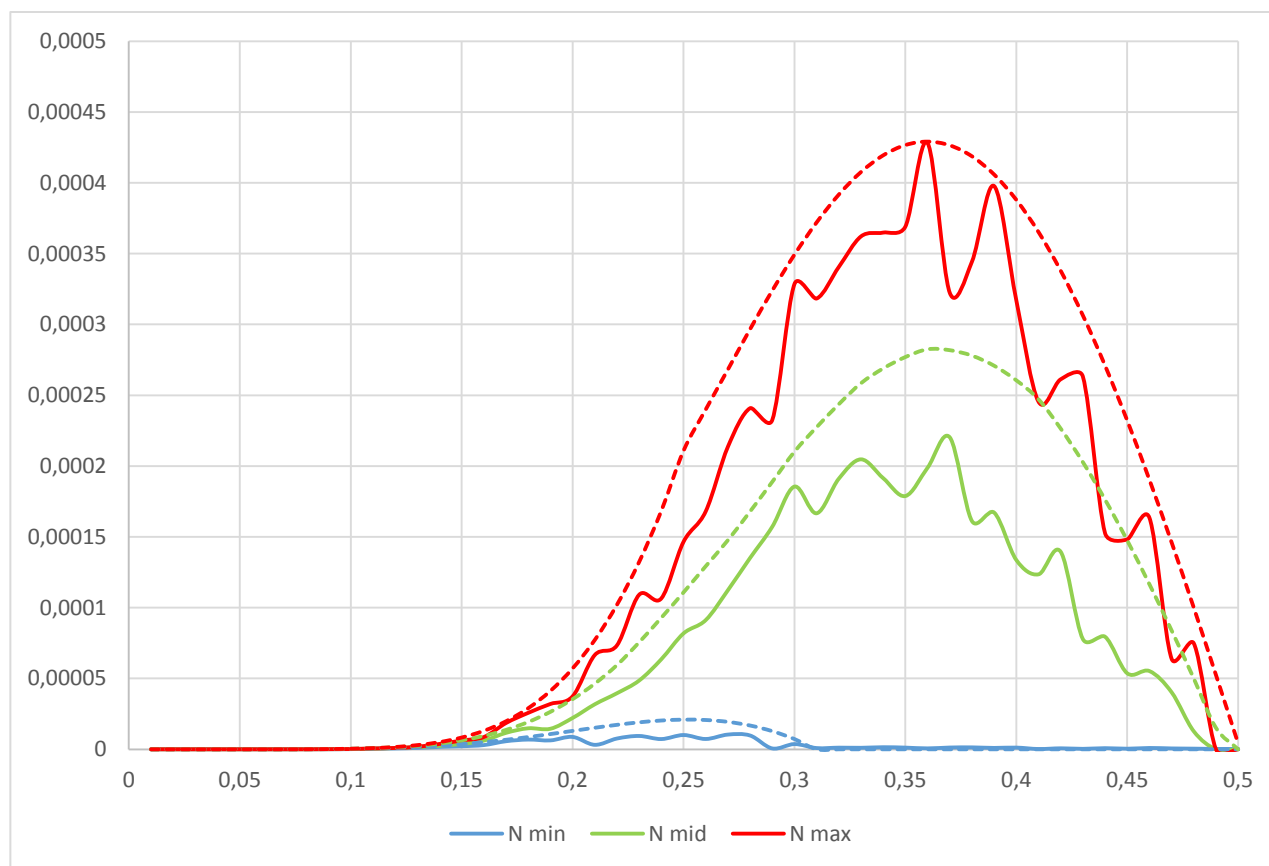


Рис. 3. Зависимость радиолокационной отражаемости от диаметра гидрометеора

На полученном графике представлены три области, в пределах которых находятся значения радиолокационной отражаемости частицы определенного размера. Опираясь на значения плотности распределения, то есть просуммировав значения радиолокационной отражаемости всех частиц, входящих в исследуемый сектор, получаем теоретическое значение радиолокационной отражаемости кубического объема облака, которое затем сравнивается с реальным.

Заключение. В ходе исследования радиолокационной отражаемости сигнала было установлено, что данная характеристика применима для повышения достоверности результатов измерения при обработке сигнала МРЛ. Путем сравнения реального сигнала, полученного в ходе зондирования сектора облака, и теоретического, полученного в ходе расчёта, можно судить о концентрации частиц в облаке, следовательно, о выпадении осадков в области обзора МРЛ.

Также, исходя из расчёта функции распределения частиц по размерам, выявлено, что наибольший вклад в радиолокационную отражаемость вносят гидрометеоры диаметром от 0,25 до 0,4 мм.

Библиографический список

1. Кантемиров, Ю. И. Обзор современных радиолокационных данных ДЗЗ и методик их обработки, реализованных в программном комплексе SARSCAPE / Ю. И. Кантемиров // GEOMATICS. — 2010. — №3. — С. 44–46.
2. Паранук, В. И. Об одном обобщении Гамма- и Бета-функций / В. И. Паранук // Вестник АГУ. — 2013. — №4(125). — С. 13–14.



3. Лапшин, В. Б. Экспериментальные исследования в лабораторных и натуральных условиях влияния коронного разряда на эволюцию дисперсности аэрозолей и плотность тумана / В. Б. Лапшин, А. А. Палей, М. Ю. Яблоков // Электронный журнал «Исследовано в России». — 2004. — С. 2129–2140.

4. Широков, Ю. Ф. Основы теории радиолокационных систем / Ю. Ф. Широков. — Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева, 2012. — 129 с.

5. Метод обнаружения и сопровождения воздушных объектов по отраженным радиосигналам сторонних источников в пассивно-активных системах радиолокации / С. А. Батчев [и др.] // Программные продукты и системы. — 2016. — Т.29, №3. — С. 168–174.