

Модель оценки заряда облаков и осадков по радиолокационным данным

И.Е. Кузнецов, e-mail: vaiumet@mail.ru
Д.В. Булгин, e-mail: d.bulgin77@yandex.ru
В.С. Волков

Военный учебный научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

***Аннотация.** На основе данных, получаемых от метеорологических радиолокационных станций в статье предлагается модель оценки заряженных аэрозольных частиц облаков и осадков.*

***Ключевые слова:** электрический заряд облаков и осадков, электрически активные зоны, заряженные аэрозольные частицы.*

Введение

Интенсивное использование новых композитных материалов для воздушных судов, а также развитие различных систем навигации и управления, требует предоставления детальной информации о состоянии атмосферы, в том числе и об электрически активных зонах (ЭАЗ), которые могут оказывать негативное влияние на их работоспособность и безопасность полетов.

В настоящее время процесс получения данных о заряде атмосферного аэрозоля основан на использовании технических средств, которые устанавливаются на воздушных судах, аэростатах, либо входят в состав зондов при производстве аэрологических наблюдений [1, 2]. Данные контактные способы обладают следующими недостатками: низкой временной дискретностью; малым объемом пространства, в котором производятся измерения; изменением измеряемых параметров, обусловленным влиянием самих средств измерения на характеристики частиц облаков и осадков; сложностью получения и передачи информации о полях электрических характеристик. Перечисленные недостатки затрудняют получение актуальной информации об электрических параметрах атмосферы.

Таким образом, необходимо разработать способ выявления ЭАЗ, который отличался бы необходимой достоверностью и репрезентативностью. Для решения поставленной задачи следует использовать радиолокационные данные для обнаружения ЭАЗ.

В настоящей работе проводилось изучение особенностей рассеяния электромагнитных излучений заряженными аэрозольными частицами атмосферы с целью выявления и оценки возможности применения метеорологических радиолокационных станций для обнаружения ЭАЗ и определения величины электрического заряда облаков и осадков.

1. Разработка способа

При определении заряда аэрозольных частиц, содержащихся в импульсном объеме, необходимо найти величину их проводимости, которая связана с коэффициентами преломления и поглощения следующим соотношением [1].

$$2np = 60\lambda\gamma \quad (1)$$

$$j = \gamma E = \rho v \quad (2)$$

где ρ – заряд исследуемого объема, v – скорость перемещения заряда, E – напряженность электрического поля.

Используя результаты, полученные в [2, 3], можно определить скорость движения зарядов по поверхности частицы:

$$v = \frac{e \cdot E}{m \cdot w} \quad (3)$$

Преобразуем данное уравнение:

$$\rho = \frac{n \cdot p \cdot m \cdot 2\pi \cdot c}{30 \cdot \lambda^2 \cdot e} = K \frac{n \cdot p}{\lambda^2} \quad (4)$$

где $K = \frac{2\pi \cdot c \cdot m}{30e} = 0,0397$ – постоянный коэффициент.

Используя мощности электрической и магнитной составляющих электромагнитного сигнала, отраженного от исследуемого облачного объема, можно определить n и p , которые связаны между собой следующими соотношениями:

$$\frac{\overline{P_M}}{\overline{P_\varepsilon}} = \frac{K_M^2}{K_\varepsilon^2} \frac{n^2 + p^2}{Z_0^2} \quad (5)$$

где $\overline{P_M}$ и $\overline{P_\varepsilon}$ – средние мощности электромагнитных волн, Z_0 – волновое сопротивление среды, K_M и K_ε – коэффициенты пропускания магнитного и электрического каналов соответственно.

Рассматриваемые величины K_M и K_ε имеют одинаковые значения, поэтому в расчетах их не будем использовать.

Для точного нахождения n и p необходимо второе уравнение. Поэтому будем использовать фазовое различие между электрической и магнитной составляющими электромагнитного сигнала. Подаем напряжения $\dot{u}_\Delta(t)$ и $\dot{u}_M(t)$ на усилители-ограничители, чтобы исключить влияние величины этих напряжений на напряжение на выходе фазового детектора, получим:

$$\dot{u}_{0\Delta}(t) = \dot{U}_0 e^{j\omega t} \quad (6)$$

$$\dot{u}_{0M}(t) = \dot{U}_0 e^{j(\omega t - \arctg \frac{p}{n})} \quad (7)$$

Если подать эти напряжения на вход фазового детектора, на его выходе получим:

$$\dot{u}_{\Phi Д} = U_0 e^{-j \arctg \frac{p}{n}} \quad (8)$$

где U_0 – амплитудное значение напряжения на выходе амплитудного ограничителя; $\dot{u}_{\Phi Д}$ – комплексное значение напряжения на выходе фазового детектора.

Взяв реальную часть выражения (8), получим:

$$u_{\Phi Д} = U_0 \cos(\arctg \frac{p}{n}) \quad (9)$$

Известно, что $\arctg \frac{p}{n} = \phi$, тогда:

$$\cos \phi = \frac{u_{\Phi Д}}{U_0} \text{ и } \sin \phi = \sqrt{1 - \left(\frac{u_{\Phi Д}}{U_0} \right)^2} \quad (10)$$

Второе уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{p}{n} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{u_{\Phi Д}}{U_0} \right)^2}}{\frac{u_{\Phi Д}}{U_0}} = \operatorname{tg} \phi \quad (11)$$

Решив уравнения (5) и (11) относительно n и p , получим:

$$n = \sqrt{\frac{P}{P \ominus}} Z_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}} \quad (12)$$

$$p = \sqrt{\frac{P_M}{P_{\Sigma}}} Z_0 \frac{tg \phi}{\sqrt{1 + tg^2 \phi}} \quad (13)$$

Следовательно, величина заряда импульсного объема облачности или осадков будет определяться формулой:

$$\rho_{имп} = \frac{n p m 2 \pi c}{30 \lambda^2 e} = K \frac{1}{\lambda^2} \frac{P_M}{P_{\Sigma}} \frac{tg \phi}{1 + tg^2 \phi} \quad (14)$$

где $K = \frac{2 \pi \cdot c \cdot m \cdot Z_0^2}{30 e} = 5636,54 \text{ Кл/м}$ – постоянный коэффициент.

Заряд единичного объема облачности или осадков будет определяться выражением:

$$Q = K \frac{1}{\lambda^2} \frac{P_M}{P_{\Sigma}} \frac{tg \phi}{1 + tg^2 \phi} W \quad (15)$$

где W – импульсный объем облачности или осадков.

Заключение

Предлагаемый метод оценки заряда облаков и осадков возможно использовать без калибровки метеорологических радиолокаторов, что позволит снизить аппаратные погрешности измерений рассматриваемых величин. Кроме того, данный метод можно использовать в автоматизированных радиолокационных комплексах, что позволит производить замеры величины объемного заряда атмосферы в любых промежутках времени. Данная информация позволит более детально определять ЭАЗ в атмосфере, что позволит повысить безопасность полетов воздушных судов в условиях конвективной неустойчивости.

Список литературы

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Сов. Радио, 1960. – 27 с.
2. Билетов М.В., Кузнецов И.Е., Климчук С.В. Модель радиолокационной оценки электрической активности метеорологических объектов в атмосфере. / Сб. науч. ст. по материалам Международной НТК «Проблемы техносферной безопасности». Воронеж, ВГТУ, 2015. С. 115-116.
3. Bohren C.F., Hunt A.J. Scattering of electromagnetic waves by a charged sphere // Can. J. Phys. Vol. 55. 1977. P. 1930-1935.