

УДК 551.578, PACS 551.578:

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРЫ ОСАДКОВ
И ОТРАЖАЕМОСТИ РАДИОВОЛН ОТ НИХ**

Д.И. Вельмискин, к.т.н.,
Т.М. Пустовит, асс.,
Е.А. Дяченко, асс.,
И.В. Бучинская, асс.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, avto@odeku.edu.ua*

В статье представлены наиболее адекватные математические модели структуры различных осадков и модели отражаемости радиоволн от них для повышения достоверности метеорологической информации при анализе. Показано, что для повышения достоверности информации наиболее эффективно использовать поляризационный доплеровский метеорологические радиолокатор.

Ключевые слова: структура, модель, отражаемость радиоволн, метеорологическое обеспечение, авиация.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мировой гражданской и военной авиации характеризуется увеличением интенсивности воздушного движения, причем эти тенденции носят нарастающий характер. Отсюда постоянно повышаются требования к обеспечению безопасности полетов (БП). Поддержание заданного уровня БП зависит от очень многих факторов, среди которых одним из главных является фактор метеорологических условий во время выполнения полета воздушного судна (ВС). Именно метеорологические условия в основном и создают понятие “полеты в особых условиях”, к которым относятся полеты в зонах обледенения, грозовой деятельности и сильных ливневых осадков, сильной болтанки, повышенной электрической активности атмосферы, сдвига ветра, пыльной бури.

Кроме вышесказанного, метеорологические условия могут приводить к “особым случаям” в полете, к которым относят возникновение следующих метеоявлений:

– на аэродроме вылета и посадки – гроза, град, сильная болтанка, сильный сдвиг ветра, гололед, сильное обледенение, смерч, ураган, сильная пыльная буря, сильные ливневые осадки;

– по маршруту полета – гроза, град, сильное обледенение, сильная болтанка.

Неправильная оценка метеообстановки может привести или к изменению маршрута, или к вынужденному прекращению полета, хотя в этом может не быть необходимости. В наиболее тяжелых случаях неправильная оценка метеоусловий полета может привести к авиакатастро-

фе [1, 2].

Отсюда очевидно вытекает актуальность научно-практической задачи обеспечения максимальной достоверности и оперативности получаемой от радиолокационных средств метеоинформации.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Современное состояние радиолокационной техники позволяет проводить существенно более тонкий анализ метеообъектов, используя новые подходы в обработке радиолокационных сигналов, не создавая новых образов РЛС, а меняя и дополняя их алгоритмы обработки отраженных сигналов от метеоэлементов. Основная идея этих подходов в обработке МРЛ метеоинформации заключается в использовании поляризационных свойств отраженных сигналов, т.к. поляризационное отражение радиоволн зависит от ионетрических особенностей отраженных объектов. В современных МРЛ эти возможности имеются, но с точки зрения построения алгоритмов обработки отраженных сигналов не используются на практике.

Другой возможностью проведения более тонкого анализа структуры метеоявлений является использование эффекта Доплера, т.к. скорость падения метеочастиц совершенно различна [3], то это можно использовать для их идентификации в рамках построения алгоритмов обработки применяемых сигналов от них.

Сочетание этих двух возможностей позволяет проводить анализ возникающих метеоявлений более высокой точности, чем это обеспечивают современные МРЛ.

Цель статьи: анализ математических моделей структуры различных гидрометеоров для повышения достоверности метеорологической информации при анализе.

3. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ОБЛАКОВ

Поставленная цель достигается путем решения следующей основной задачи: определение наиболее адекватных математических моделей структуры выпадающих осадков и моделей отражаемости радиоволн от них для повышения достоверности метеорологической информации, циркулирующей в АС УВД.

Для решения данной задачи необходимо построить статистические модели отражаемости радиоволн с учетом микроструктуры гидрометеоров на разных стадиях их существования. Для того чтобы построить новые алгоритмы обработки радиолокационных сигналов, отраженных от разных гидрометеоров необходимо располагать соответствующими математическими моделями, описывающими разные характеристики гидрометеоров, такие как: размер, форма, ориентация, скорость перемещения и т.д [4].

Рассмотрим вертикальную структуру ячеек дождя. Рис. 1 показывает схематически эффективную вертикальную площадь отражения радиоволн облаком обыкновенного дождя. Обычно температура воздуха падает с ростом высоты. однако кристаллы льда начинают расти при низкой температуре и высокой влажности. увеличиваясь в размерах, кристаллы начинают опускаться ниже и, сталкиваясь друг с другом, образуют снежинки. эти падающие снежинки пересекают 0°C изотерму, тают и, в конечном счете, превращаются в капли дождя. в случае обыкновенного дождя МРЛС получает лучшее отражение от области только ниже 0°C изотермы, вызванной тающими снежинками, и по этой причине уровень таяния часто называют яркой полосой.

Конвективный дождь не столь стратифицирован, как обыкновенный дождь, потому что достаточно сильный – и нисходящие потоки искажают многоуровневую структуру. Капли дождя могут быть перемещены к высотам выше 0°C изотермы, и, в конечном счете, могут превратиться в градины; различные типы гидрометеоров могут возникать на одной и той же высоте: в таком случае МРЛС не будет отображать яркую полосу.

Когда сферическая капля дождя падает, аэродинамические силы вызывают выравнивание

частицы. Чтобы описать форму капли дождя математически, нужно смоделировать эллипсоид с размера a_1 , a_2 и a_3 , что показано на рис. 2. Обычно, если a_1 равен a_2 , то форма капли будет представлять собой сфероид.



Рис. 1 – Упрощенная вертикальная эффективная площадь отражения радиоволн облаком дождя.

Теоретические вычисления формы капель дождя, основанные на измерениях падающих капель в столбе воздуха, показали, что большие капли дождя больше подвергаются изменениям формы, чем маленькие. Однако они получили различные количественные отношения между приплюснутостью у полюсов и размерами частицы в виде простых соотношений между осевым отношением и эквиобъемным радиусом D_e :

$$\xi = 1 [D_e < 1,0 \text{ мм}], \quad (1)$$

$$\xi = 1,030 - 0,062 D_e [D_e \geq 1,0 \text{ мм}] .$$

Эквиобъемный радиус D_e определен как радиус сферической частицы с тем же самым значением, что и эллипсоид: $D_e = 2\sqrt{a_1 a_2 a_3}$, осевое отношение ξ определено как отношение самой короткой к самой длинной части частицы и равно (a_3 / a_1) в случае сфероида [1].

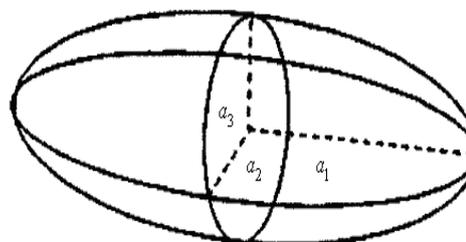


Рис. 2 – Приближенная форма капли дождя

Рис. 3 дает три модели формы осадков как функцию D_e . Модели Пруппачер-Беард (РВ) и модель Беард-Чанг (ВС) взаимосвязаны. Модель

Пруппачер-Питтер (РР) отличается от представленных выше для крупных осадков. При размерах падающих частиц приблизительно 4 мм, модель Пруппачер-Питтер показывает капли дождя, которые более приплюснуты, чем в других моделях [5].

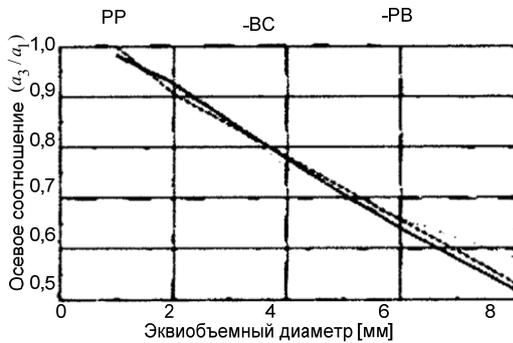


Рис. 3 – Осевое отношение капель дождя по отношению к диаметру частиц

Измерение размеров капли дождя все еще остается важной проблемой в радиолокационной метеорологии. Известно широко используемое выражение

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda_d D}, \quad (2)$$

где $N(D)$ является числом частиц с эквивалентным диаметром D , N_0 – коэффициент масштабирования распределения размеров падающих частиц, а Λ_d – коэффициент в показателе экспоненты распределения размеров падающих осадков:

$$\Lambda_d = 4.1R^{-0.21} [\text{мм}^{-1}] \text{ и } \Lambda_d = \frac{3.67}{D_0}, \quad (3)$$

где D_0 – диаметр среднего значения частицы осадков, мм, R – интенсивность дождя.

Чтобы исправить переоценку небольших осадков, предложена представить размер падающих частиц как гамма распределение

$$N(D) = N_0 D^\mu e^{\frac{3.67 + \mu}{D_0} D}, \quad (4)$$

где D_0 равно диаметру среднего значения частиц осадков, D – диаметр частиц, мм. Число небольших осадков тогда зависит от значения μ (коэффициент дисперсии). На рис. 4 показано распределение значений объема осадков для $\mu = -1, 0, 2, 4, 6$ и $D_0 = 1$ или 2 мм. Графики построены при условии, что общая масса воды –

такая же для переменной μ , но при фиксированном D_0 . Максимальное значение распределения размеров падающих частиц увеличивается, когда увеличивается μ и распределение становится более узким. Поэтому μ называется коэффициентом дисперсии. Максимальные значения немного сдвигаются к большим значениям D , но этот сдвиг уменьшается для больших значений μ . Распределение становится более широким, когда D_0 увеличивается.

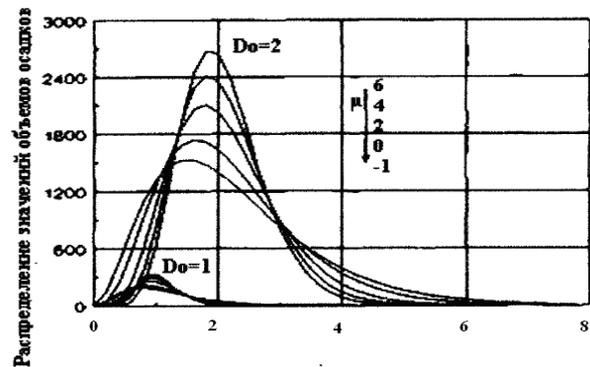


Рис. 4 – Распределение значений объемом осадков для различных значений μ , $D_0 = 1$ или 2 мм

Размер снежинок рассматривают как диаметр растаявшей частицы, который является диаметром, который имела бы частица, если бы она растаяла в сферическую каплю дождя.

Распределение размеров может быть описано экспоненциальным распределением (см. формулу (2), но с различными выражениями для N_0 и Λ)

$$N_0 = 2.5 \cdot 10^3 R^{-0.94}, [\text{мм}^{-1} \text{ м}^{-3}], \Lambda = 229R^{-0.45}, [\text{мм}^{-1}] \quad (5)$$

где R [мм/ч] обозначает интенсивность дождя, которая была бы, если бы все снежинки растаяли и N_0 – коэффициент масштабирования распределения размеров падающих частиц.

Обычно принимают две формы кристаллов льда: вращательная симметричная *ножка* и *диск*, математически описанный как сфероид. Осевое отношение $\xi_{\text{лед}}$ кристалла и самой длинной оси частицы D имеет вид

$$\Lambda_{\text{лед}} = \alpha D^\beta, \quad (6)$$

где α и β зависят от типов кристаллов. Например, $\alpha = 1.099$ и $\beta = -0.389$ для ножки, и $\alpha = 2.02$ и $\beta = -0.55$ для пластинчатых кристаллов [D в мм]. Пластинки возникают при температурах от

-25 до -10°C, а ножки при температурах от -10 до -5°C и ниже -25°C.

Различные типы облаков приводят к различным распределениям размера кристаллов льда и гамма распределение с $\mu = 5$ достаточно хорошо их описывает.

Выше были приведены математические модели описания основных характеристик гидрометеоров. Эти характеристики (форма, размер, ориентация и т.д.) в свою очередь будут определять основные характеристики отраженных от гидрометеоров радиолокационных сигналов.

3.1 Анализ модели отражаемости радиоволн

Обратное рассеивание радиолокационных сигналов обычно определяется параметром σ – эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР), которая описывается как область, охватывающая значительную часть мощности при отражении сигнала во всех направлениях и измеренная МРЛС. Выражение для ЭПР имеет вид

$$\sigma = \frac{\pi D^2}{\chi^2} \left| \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n (2n-1)(c_n - d_n) \right|^2, \quad (7)$$

где D – диаметр частицы, $\chi = \frac{\pi D}{\lambda}$, где λ – длина волны, c_n и d_n – коэффициенты, которые включают функцию Бесселя и Ханкеля с параметрами, зависящими от χ . Когда размер частицы маленький по сравнению с длиной волны ($D \ll \lambda$ и $\chi \ll 1$), уравнение (7) преобразуется к формуле Рэлея, где ϵ_r – относительная комплексная диэлектрическая постоянная среды:

$$\sigma = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{(\epsilon_r - 1)}{(\epsilon_r + 2)} \right|^2 D^6 \quad (8)$$

или

$$\sigma = \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda^4} D^6, \quad (9)$$

где $K = \left| \frac{(\epsilon_r - 2)}{(\epsilon_r + 2)} \right|$.

Когда σ нормализована к геометрической ЭПР, тогда

$$\sigma_{norm} = \frac{\sigma}{\pi D^2} = |K|^2 \chi^4 \quad (10)$$

Точность приближения Рэлея зависит от размера частицы и диэлектрической постоянной. Максимальное значение $\sqrt{|\epsilon_r|}$ в длинах волны

МРЛС является приблизительно 9 для воды и приближается к 1 в случае очень слабого снега. При длине волны МРЛС 10 см приближение Рэлея работает хорошо для частиц с диаметрами, меньшими 7 мм. Большинство типов дождей соответствуют этим значениям. Снежинки, однако, могут быть больше чем 7 мм, но их меньшая диэлектрическая проницаемость позволяет использовать распределение Рэлея.

При расчете ЭПР объема V , заполненного N гидрометеорами (взаимодействием между частицами обычно пренебрегают), вычисляют сумму всех ЭПР отдельных частиц

$$\sigma_{tot} = \sum_{i=1}^N \sigma_i = \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda^4} \sum_{i=1}^N D_i^6. \quad (11)$$

Эффективная площадь рассеяния есть частотная зависимость. Чтобы допустить сравнение измерений обратного рассеяния при различных значениях и на различных частотах, определяют Z как отражающую способность

$$Z = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K|^2 V} \sigma_{tot} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N D_i^6. \quad (12)$$

Обычно значение Z определяют в $\text{мм}^6/\text{м}^3$. Часто используют эквивалентную отражающую способность Z_e [6]

$$Z_e = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K_r|^2 V} \sigma_{tot}, \quad (13)$$

в которой K_r – значение K , которое бы оно имело, если бы дождь заполнил весь объем.

3.2 Исследование доплеровских и поляризационных измерений

Частица, которая движется в направлении МРЛС со скоростью v , вызовет сдвиг доплеровской частоты Δf сигнала

$$\Delta f = \frac{2v}{\lambda}. \quad (14)$$

Обычно, доплеровский спектр описывают его статистическими моментами. Например, средней обратно рассеянной мощностью Z_d , средней скоростью V_d и дисперсией W_d^2 [7]:

$$Z_d = \int_{V_{min}}^{V_{max}} S_v(v) dv$$

и

$$V_d = \frac{1}{Z_d} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} v S_V(v) dv, \quad (15)$$

$$W_d^2 = \frac{1}{Z_d} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} (v - V_d)^2 S_V(v) dv. \quad (16)$$

Рис. 5 схематично изображает спектр доплеровских частот. На нем показаны V_d и W_d , Z_d – область под кривой. Средняя мощность связана с числом, размером и типом гидрометеоров. Средняя скорость связана с движением средней частицы и вызвана скоростью падения гидрометеоров и ветром. Принимая взаимонезависимость этих факторов, можно показать, что полное отклонение W_{dm} от спектра доплеровских частот записывается как сумма дисперсий отдельных компонентов [8]

$$W_{d,m}^2 = W_d^2 + W_t^2 + W_w^2 + W_b^2,$$

где индексы d , t , w и b обозначают, соответственно, осадки, турбулентность, сдвиг ветром и расширение луча.

В спокойном воздухе скорость падения и ЭПР каплей дождя зависят только от размера выпадающей частицы. Спектр доплеровских частот для рассеяния Рэлея может быть выражен через размер падающей частицы D как [9]

$$S_D(D) = N(D) \sigma(D) V = \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda^4} N(D) D^6 V \quad (17)$$

и тогда может быть выражено на основе отражающей способности

$$Z_D = N(D) D^6. \quad (18)$$



Рис. 5 – Типичный спектр доплеровских скоростей

Рис. 6 показывает $Z_{(D)}$ в случае распределения размеров падающих частиц Маршалл-Палмера, после использования соотношений между скоростью падения и размером выпадающей частицы, который дан выше. Средний

диаметр D_0 установлен в 1, 1,5 и 2 мм, соответственно [10].

Рис. 7 показывает среднюю отражающую способность, среднюю скорость и ширину спектра доплеровских частот, как функцию средних размеров выпадающей частицы. Диапазон значений D_0 соответствует диапазону интенсивностей дождя от 0 до 50 мм/час. Средняя отражательная способность и средняя скорость увеличиваются монотонно с увеличением D_0 , но ширина меняется по-разному: увеличивается для $D_0 < 1$ мм, и уменьшается снова для большего D_0 .

Поляризметрические измерения осадков выражены несколькими характеристиками. Самая известная – горизонтальная отражающая способность Z_h , которая является кополярной измеренной горизонтальной поляризации. Также используют дифференциальную отражающую способность Z_{dr}

$$Z_{dr} = \frac{Z_h}{Z_v}. \quad (19)$$

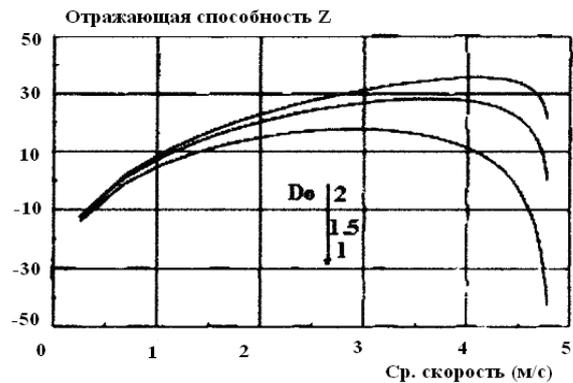


Рис. 6 – Смоделированный спектр доплеровских частот для различных значений D_0

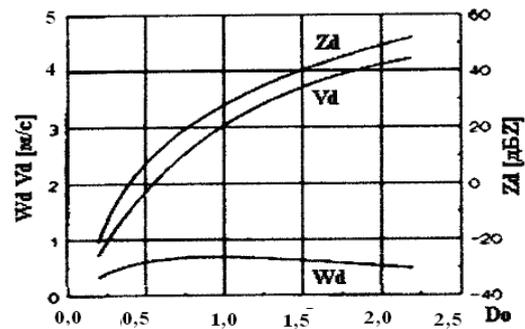


Рис. 7 – Статистические моменты доплеровского спектра частот как функция D_0

Полагая, что распределение размеров выпадающей частицы описывается гамма распределением, Z_{dr} становится

$$Z_{dr} = \frac{\int \sigma_{hh}(D_e, \delta) D_e^\mu e^{-\frac{3.67+\mu}{D_0} D_e} p_\delta(\delta) dD_e d\delta}{\int \sigma_{vv}(D_e, \delta) D_e^\mu e^{-\frac{3.67+\mu}{D_0} D_e} p_\delta(\delta) dD_e d\delta} \quad (20)$$

ЭПР $\sigma_{ri}(D_e, \delta)$ каплей дождя вычисляется, используя теорию Рэля. Когда распределение углов скашивания δ известно и коэффициент дисперсии μ установлен как фиксированное значение, Z_{dr} зависит только от среднего размера выпадающей частицы D_0 .

После того, как D_0 получен, Z_h используется, чтобы получить значение N_0 размеров падающих частиц [11]

$$Z_h = N_0 \int \sigma_{hh}(D_e, \delta) D_e^\mu e^{-\frac{3.67+\mu}{D_0} D_e} p_\delta(\delta) dD_e d\delta. \quad (21)$$

Кроме использования Z_h для определения количественных значений распределения размеров падающих частиц, Z_{dr} является также подходящей для того, чтобы идентифицировать типы гидрометеоров, потому что Z_{dr} зависит от формы частицы.

Кросс-поляризованное радиолокационное отражение используется, чтобы определить линейное отношение деполаризации L_{dr}

$$L_{dr} = \frac{\int \sigma_{hv}(D_e, \delta) p_D(D_e) p_\delta(\delta) dD_e d\delta}{\int \sigma_{hh}(D_e, \delta) p_D(D_e) p_\delta(\delta) dD_e d\delta} \quad (22)$$

L_{dr} чувствителен к форме и ориентации частицы: сферическая частица не будет давать кросс-полярного отражения и сфероидальная частица должна быть наклонена для отражения кросс. Чтобы проиллюстрировать эффект взаимосвязи размера частицы и ее ориентации, Z_{dr} и L_{dr} показаны на рис. 8 как функция среднего значения размера выпадающей частицы дождя D_0 для различных среднеквадратических значений σ_δ при Гауссовском распределении углов наклона (скашивания).

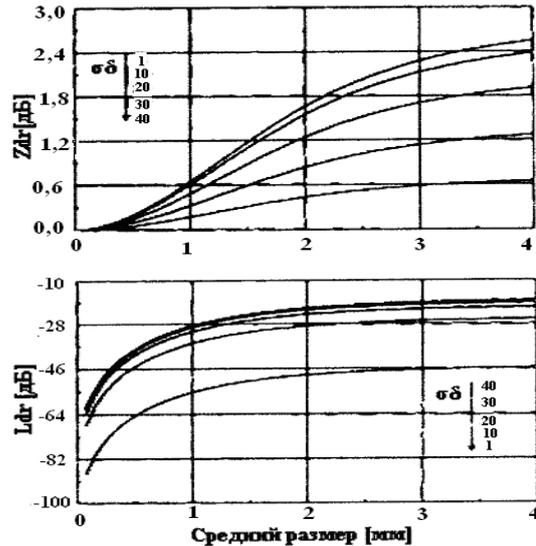


Рис. 8 – Дифференциальная отражающая способность Z_{dr} и линейное отношение деполаризации L_{dr} как функция среднего размера выпадающей частицы D_0 для различных значений σ_δ

Дифференциальная отражающая способность и линейное отношение деполаризации для единственной частицы определяется:

$$Z_{dr} = \frac{q_{hh}}{q_{vv}} = \frac{((\Lambda_3 - \Lambda_1) \sin^2 \delta \sin^2 \alpha + \Lambda_1)^2}{((\Lambda_3 - \Lambda_1) \sin^2 \delta \cos^2 \alpha + \Lambda_1)^2}$$

и

$$L_{dr} = \frac{q_{hv}}{q_{hh}} = \frac{\frac{1}{2} \sin 2\alpha \sin^2 \delta (\Lambda_3 - \Lambda_1)^2}{((\Lambda_3 - \Lambda_1) \sin^2 \delta \cos^2 \alpha + \Lambda_1)^2} \quad (23)$$

Когда $\sigma = 0$, тогда $Z_{dr} = 1$ и $L_{dr} = 0$, независимо от угла α . Когда $\alpha = 0$ или $\alpha = 90$, тогда $L_{dr} = 0$, независимо от угла скашивания δ . Z_{dr} тем не менее отклоняется от 1, потому что скашивание угла δ вызывает овальную форму частицы.

4. ВЫВОДЫ

Таким образом, отражающую способность гидрометеоров можно определить с помощью двухволнового МРЛ. Она зависит от размеров частиц и диэлектрической постоянной ϵ . Максимальное значение диэлектрической постоянной ϵ для воды приближается к 9, а для слабого снега приближается к 1.

Поляризационное измерение можно использовать для измерения ЭПР капель дождя, т.к. дифференциальная отражающая способность

Z_{dr} зависит от среднего размера частиц D_0 и ее формы.

Линейные отношения деполяризации L_{dr} можно использовать для определения формы и ориентации частицы: сферическая частица не будет давать кросс-полярного отражения.

Объединенные доплеровские и поляризационные измерения по ширине доплеровского распределения и линейного отношения деполяризации L_{dr} получают оценку степени интенсивности турбулентности.

Материал статьи обосновывает возможность использования поляризационно-доплеровских параметров отраженных от гидрометеоров радиоволн в МРЛС для проведения тонкого анализа микроструктуры метеочастиц, т.е. для нахождения их формы, размеров, ориентации, суммарной интенсивности и т.д., что существенно повышает достоверность получаемых метеоданных, которые циркулируют в автоматизированной системе управления воздушным движением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности / Н.Ф. Павлов. – Л.: Гидрометеоздат, 1980, – 432 с.
2. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений / Л.Г. Качурин. – Л.: ГМИ, 1985. – 368 с.
3. Горелик А.Г., Мельничук Ю.В. О связи спектра флуктуаций радиолокационного сигнала с движением рассеивателей в метеообъектах / А.Г. Горелик, Ю.В. Мельничук // ДАН СССР. - 1961. - Т. 140. – С. 579-582.
4. Сокол П.П. Моделирование процесса таяния осадков при радиолокационном наблюдении в системах УВД / П.П. Сокол // Научный вестник МГТУ ГА. -2010. - №152. – С. 187-191.
5. Горелик А.Г., Мельничук Ю.В., Черников А.А. Связь статистических характеристик радиолокационного сигнала с динамическими процессами и микроструктурой метеообъектов / А.Г. Горелик, Ю.В. Мельничук, А.А. Черников // Труды ЦАО. - 1963.- №48. – С. 29-36.
6. Горелик А.Г., Стерлядкин В.В. Доплеровская томография в радиолокационной метеорологии / А.Г. Горелик, В.В. Стерлядкин // Изв. АН СССР. - 1990. - №1. - С. 47-54.
7. Enterprise Electronics Corporation, USA, Weather radar solutions for today and tomorrow. A tech.-sys. company. Prospects, 1999.
8. Joe P., Crozier C., Scott J., Falla M., Passarelli R.Jr., Sig-gia A. Signal processing and digital IF on the Canadian

- Doppler radar network. – COST 75, 1999, p. 544-556
9. Terminal Doppler weather radar (TDWR). A briefing paper. Federal Aviation Administration USA, Boulder, 1988, p. 18.
10. Пампел Х. Обнаружение и сверхкраткосрочное прогнозирование конвективных явления, опасных для авиации / Х. Пампел // – В сб.: Новые тенденции в гидрометеорологии, вып. 4. – Л.: Гидрометеоздат. 1998. – С. 70-83.
11. Безлова Т.А. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Т.А. Безлова // Гидрометеоздат. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 332.

REFERENCES

1. Pavlov N.F. *Aerologiya, radiometeorologiya i tekhnika bezopasnosti* [Aerology, radiometeorograph and safety]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 432 p.
2. Kachurin L.G. *Metody meteorologicheskikh izmereniy* [Modeling of the process of melting of precipitation with radar surveillance systems ATC]. Leningrad: GMI, 1985. 368 p.
3. Gorelik A.G., Mel'nichuk Yu.V. *DAN SSSR –Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. 140, pp. 579-582. [In Russian]
4. Sokol P.P. *Nauchnyy vestnyk MGTU GA – Scientific Bulletin of Moscow state technical University of civil aviation*, 2010, no. 152, pp. 187-191. [In Russian]
5. Gorelik A.G., Mel'nichuk Yu.V., Chernikov A.A. *Trudy TsAO - Proceedings Of The Central Aerological Observatory*, 1963, no. 48, pp. 29-36. [In Russian]
6. Gorelik A.G., Sterlyadkin V.V. *Izv. AN SSSR – News Academy of Sciences of the USSR*, 1990, no. 1. pp. 47-54.
7. Enterprise Electronics Corporation, USA, Weather radar solutions for today and tomorrow. A tech.-sys. company. Prospects, 1999.
8. Joe P., Crozier C., Scott J., Falla M., Passarelli R.Jr., Sig-gia A. Signal processing and digital IF on the Canadian Doppler radar network. – COST 75, 1999, p. 544-556
9. Terminal Doppler weather radar (TDWR). A briefing paper. Federal Aviation Administration USA, Boulder, 1988, p. 18.
10. Pampel H. *Obnaruzhenie isverhkratkosrochnoe prognozirovaniye konvektivnykh yavleniya, opasnykh dlya aviatsii* [Discovery and supershort-term prognostication конвективных the phenomena, dangerous for an aviation]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1998, no. 4, pp. 70-83.
11. *Bezlova T.A. Meteorologicheskie avtomatizirovannyye radiolokatsionnyye seti* [Meteorological automated radiolocation networks] Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 2002. pp. 332.

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF STRUCTURE OF PRECIPITATION AND REFLECTION OF RADIOWAVES THEREFROM

D.Y. Vel'myskyn, cand. tech. sci.,
T.M. Pustovit, ass.,
E.A. Diachenco, ass.,
I.V. Buchynskaya, ass.

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, avto@odeku.edu.ua

The article deals with the issues of safety of aviation flights under special meteorological conditions which include flights within the areas associated with thunderstorm activity, heavy rainfall, increased electrical activity of the atmosphere etc. This raises the task of providing aviation flights with maximum accurate and timely information from radar means of meteorological information. In order to solve this task we require the most appropriate mathematical models and structures of out-of-order models of radiowaves reflectivity.

The article deals with mathematical models of main characteristics of precipitation (shape, size, orientation). These characteristics, in their turn, determine main characteristics of reflected hydrometeors of radar signals. Backscattering of radar signals is determined by the effective surface of scattering. It shows that it is subject to Rayleigh approximation. Accuracy of approximation depends on size of particles and dielectric constant. Doppler and polarization measurements of particles moving relative to a meteorological radar set and causing a Doppler shift signal are studied. Doppler spectrums describe it through statistical aspects such as average backscattered power, average speed and dispersion. Polarimetric measurements are characterized by several parameters: horizontal reflectivity, differential reflectivity. The article theoretically justifies the use of polarization Doppler parameters of reflected radiowaves in order to perform a subtle analysis of microstructure of meteorological particles.

Keywords: recognition, textures, spectral analyzes statistical evidences.

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРИ ОПАДІВ І ВІДБИТТЯ РАДІОХВИЛЬ ВІД НИХ

Д.І. Вельміскін к.т.н.,
Т.М. Пустовіт, асс.,
К.О. Дяченко асс.,
І.В. Бучинська асс.,

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016 Одеса, Україна, avto@odeku.edu.ua

В статті представлені найбільш адекватні математичні моделі структури різних опадів і моделі відбиття радіохвиль від них для підвищення достовірності метеорологічної інформації при аналізі. Показано, що для підвищення достовірності інформації найбільш ефективно використовувати поляризаційний доплерівський радіолокатор.

Ключові слова: структура, модель, відбиття радіохвиль, метеорологічне забезпечення, авіація.

Дата первого представления.: 27.07.2015

Дата поступления окончательной версии : 07.06.2016

Дата опубликования статьи: 04.07.2016