

УДК 621.396

В.В. Печенин, П.А. Нечипорук, С.А.Фиров

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков*

## **ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ**

*На эвристическом уровне разработана цифровая тестовая модель радиолокационных отражений от дождевых осадков, особенностью которой является использование в качестве основного параметра интенсивности выпадения дождя. Существенным преимуществом разработанной модели является то, что при благоприятных условиях выпадения осадков величина интенсивности практически постоянна, на всей дистанции зондирования за период обзора. Разработанная модель может найти практическое применение при разработке перспективных РЛС на этапе их проектирования и формирования тактико-технических характеристик.*

**Ключевые слова:** *цифровая тестовая модель, радиолокационное отражение, дождевые осадки.*

### **Введение**

Дальнейшее развитие и совершенствование радиолокационных средств обнаружения и сопровождения лоцируемых объектов, повышение точности определения их местоположения и параметров движения в условиях влияния пассивных помех суще-

ственным образом связано с объективностью модельного описания помеховой обстановки, близкой к реальной.

С другой стороны, обнаружение и оценка радиолокационных характеристик пассивных помех представляет самостоятельную исследовательскую задачу.

Одним из источников пассивной помехи являются гидрометеорообразование и, в частности, дождевые осадки в атмосфере. Сигналы, отраженные от дождевых осадков, затрудняют работу оператора радиолокационной станции (РЛС), ухудшают эффективность обработки полезной радиолокационной информации, нарушают правильность функционирования временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ). Но для метеорологических РЛС отражения от дождевых осадков дают возможность получения общей картины выпадения осадков и их характеристик в зоне наблюдения. Важную роль играют метеорологические радиолокационные станции – метеолокаторы, устанавливаемые на самолетах для предупреждения пилотов об опасных грозовых зонах, которые следует обходить.

**Цель работы** – разработка цифровой тестовой модели радиолокационных отражений от дождевых осадков, способной обеспечить объективный контроль правильности функционирования программно-математического обеспечения цифрового тракта обработки информации, а также использование модели для оперативного контроля функционирования цифрового тракта РЛС.

### Основная часть

В работе [2] синтезированы на эвристическом уровне одномерная и двумерная цифровые тестовые модели радиолокационных отражений на выходе аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Они представляют собой равномерный набор дискретных отсчетов интенсивности, учитывающий технические характеристики РЛС, дискретность изменения дальности  $\Delta D$ , определяемую разрешающей способностью РЛС по дальности и дискретностью  $\Delta \phi$  по азимуту, определяемую разрешающей способностью РЛС по азимуту. При этом вся область дальностей разбивалась на  $L$  разрешающих объемов  $V_{и.L}$  и в каждом объеме определялась средняя эффективная площадь рассеяния (ЭПР)  $G_{\Sigma i}$ , где  $G_{\Sigma i}$  – количество частиц осадков в  $L$ -м разрешающем объеме.

Для случая равномерного выпадения дождевых осадков, при отсутствии атмосферных турбулентных возмущений одномерная модель записывается в виде:

$$|\Pi \Delta D|_{\sigma} = \frac{P_{и} G}{(4\pi)^2} \frac{1}{8} G_{уд.нк} \pi c \tau_{и} \Theta_{Г} \Theta_{В} \sum_{L=1}^M \frac{1}{R_L^2}. \quad (1)$$

Здесь  $P_{и}$  – импульсная мощность излучения РЛС;  $G$  – коэффициент направленного действия антенны;  $G_{уд.нк}$  – некогерентная удельная ЭПР капли дождевых осадков;  $\tau_{и}$  – длительность излученного импульса;  $\Theta_{Г}$ ,  $\Theta_{В}$  – ширина диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях;  $R_L$  – дальность до  $L$ -го разрешающего объема;  $M$  – число импульсных объемов на периоде зондирования;

$c$  – скорость света в вакууме;  $\Delta D$  – разрешающая способность РЛС по дальности.

Недостаток модели очевиден, поскольку нужно знать  $G_{уд.нк}$ , т.е. производить ее измерения, или пользоваться таблицами, что в общем случае достаточно неэффективно. Значительно проще измерять интенсивность выпадения дождевых осадков  $\gamma$  мм/час.

Если длина волны излучения велика по сравнению с диаметром рассеивающей частицы (капли дождя), то ЭПР этой частицы равна

$$G_i = \frac{\pi^5 d^6}{\lambda^4} |K|^2, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр частицы;  $\lambda$  – длина волны излучения РЛС;  $|K|^2$  – зависит от диэлектрической проницаемости частицы и медленно изменяется при изменении длины волны.

В частности,

$$K = (m^2 - 1) / (m^2 + 2), \quad (3)$$

где  $m$  – комплексный коэффициент преломления, равный  $m = n - ik$  ( $n$  – коэффициент поглощения воды), а  $|K|^2 \sim 0,93$ .

Воспользуемся теперь уравнением радиолокации, как это сделано в [2], записав его в цифровой форме.

Тогда для  $L$ -го разрешаемого объема

$$|\Pi L| = \frac{P_{и} G}{(4\pi)^2} G_{\Sigma i} \frac{1}{R_L^4}. \quad (4)$$

Импульсный объем  $L$ -го сечения дождевых осадков

$$V_{и.L} = \frac{\pi}{4} \Theta_{Г} \Theta_{В} R_L^2 \frac{c \tau_{и}}{2}. \quad (5)$$

Умножая (2) на (5), получим

$$G_{\Sigma i} = \frac{\pi^5 d^6}{\lambda^4} |K|^2 \frac{\pi c \tau_{и}}{2} \Theta_{Г} \Theta_{В} R_L^2. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получаем формулу для цифровой тестовой модели

$$|\Pi \Delta D|_{\sigma} = \frac{P_{и} G}{(4\pi)^2} \frac{1}{16} \frac{\pi^5 \pi c \tau_{и}}{\lambda^4} \Theta_{Г} \Theta_{В} \sum_{L=1}^M \frac{1}{R_L^2} \sum_{LL} d^6 |K|^2. \quad (7)$$

Когда РЛС работает на частотах, для которых справедлива теория рассеяния Релея [3], уравнение (7) можно использовать для определения радиолокационным методом суммы  $Z = \sum_{iL} d^6$ . Более важ-

ной, чем  $\sum_{iL} d^6$  величиной, которую можно измерить радиолокационным методом, является интенсивность дождя  $\gamma$ . По данным экспериментальных измерений интенсивности дождя установлено, что величина  $Z = \sum_{iL}$  связана с  $\gamma$  зависимостью

$$Z = ar^b, \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  – эмпирически определяемые величины.

Наиболее приемлемым считается соотношение

$$Z = 200r^{1.6}, \quad (9)$$

где  $Z$  измеряется в единицах  $\text{мм}^6/\text{м}^3$ , а  $r$  – в  $\text{мм}/\text{час}$ .

Теперь можно выразить интенсивность радиолокационных отражений через интенсивность дождевых осадков

$$|\Pi\Delta D|_{\sigma} = \frac{P_n G}{(4\pi)^2} \frac{1}{16} \frac{\pi^5}{\lambda^4} \pi \sigma \tau_n \Theta_{\Gamma} \Theta_{\text{В}} \times \\ \times M \cdot 0,93 \cdot 200r^{1.6} \sum_{L=1}^M \frac{1}{R_{Lj}^2}. \quad (10)$$

Это уравнение позволяет определить интенсивность радиолокационного сигнала, отраженного от дождевых осадков, без учета ослабления радиоволн и отсутствия турбулентного движения.

Ослабление должно учитываться на волнах от 3 см и короче, а при необходимости проведения точных измерений и на волнах короче 10 см.

Если ослабление не учитывается в тех случаях, когда оно должно приниматься во внимание, результаты измерения интенсивности дождя могут быть ошибочными.

Двумерная тестовая модель радиолокационных отражений, учитывающая азимутальное вращение антенны РЛС имеет вид:

$$|\Pi\Delta D, j\Delta\phi|_{\sigma} = \frac{P_n G}{(4\pi)^2} \frac{1}{16} \frac{\pi^5}{\lambda^4} \pi \sigma \tau_n \Theta_{\Gamma} \Theta_{\text{В}} \times \\ \times M \cdot 0,93 \cdot 200r^{1.6} \sum_{L=1}^M \sum_{j=1}^M \frac{1}{R_{Lj}^2}, \quad (11)$$

где  $N$  – общее число элементов разрешения на периоде вращения антенны в секторе азимутального обзора РЛС;  $R_{Lj}$  – расстояние до ячейки разрешения азимут-дальность.

## Выводы

Эвристически синтезирована цифровая тестовая модель радиолокационных отражений от дождевых осадков, в которой средняя ЭПР совокупности частиц (капель) заменена на интенсивность осадков.

Существенным преимуществом разработанной модели является то, что при благоприятных условиях выпадения осадков величина интенсивности  $r$   $\text{мм}/\text{час}$  практически постоянна, на всей дистанции зондирования за период обзора. Кроме того, величина  $r$  может измеряться не только радиолокационным способом, а и обычным лабораторным способом путем замера количества осадков за час.

Разработанная модель может найти практическое применение при разработке перспективных РЛС на этапе их проектирования и формирования тактико-технических характеристик.

## Список литературы

1. Скольник М. Введение в технику радиолокационных систем. – М.: Мир, 1965. – 747 с.
2. Печенин В.В., Мсаалам Е.П., Усиченко А.В. Цифровая модель рассеяния радиолокационного сигнала гидрометеорообразования // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 3 (9). – С. 22-24.
3. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1. – М.: Мир, 1981. – 280 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ЦИФРОВА МОДЕЛЬ ВІДДЗЕРКАЛЕНЬ РАДІОЛОКАЦІЙ ВІД ДОЦОВИХ ОПАДІВ

В.В. Печенін, П.А. Нечипорук, С.О. Фіров

*На евристичному рівні розроблена цифрова тестова модель радіолокаційних віддзеркалень від дощових опадів, особливістю якої є використання як основний параметр інтенсивності випадання дощу. Істотною перевагою розробленої моделі є те, що за сприятливих умов випадання опадів величина інтенсивності практично постійна, на всій дистанції зондування за період огляду. Розроблена модель може знайти практичне вживання при розробці перспективних РЛС на етапі їх проектування і формування тактико-технічних характеристик.*

**Ключові слова:** цифрова тестова модель віддзеркалень радіолокацій, дощові осідання.

## DIGITAL MODEL OF RADIO-LOCATION REFLECTIONS FROM RAIN PRECIPITATIONS

V.V. Pechenin, P.A. Nechiporuk, S.A.Firov

*At heuristic level the digital test model of radio-location reflections from rain precipitations, the feature of which the use as a basic parameter of intensity of fall of rain is, is developed. That at the favourable terms of fall of precipitations the size of intensity is practically permanent is substantial advantage of the developed model, on all distance of sounding for period of review. The developed model can find practical application at development of perspective RLS on the stage of their planning and forming of taktik-technical descriptions.*

**Keywords:** digital test model of radio-location reflections, rain sinking.