

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577)

Корбан Д.В.  
ОНМА

## **ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ НА ИЗМЕРЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ СУДОВОЙ РЛС**

**Постановка проблемы.** Радиолокационное обнаружение навигационных объектов и измерение их координат на пути судна происходит в сухой и влажной атмосфере, а также при наличии в ней облаков и осадков [1,2]. В сухой атмосфере, несмотря на отсутствие водяного пара и осадков, в ней имеются неоднородности показателя преломления воздуха, обусловленные турбулентным перемешиванием воздушных масс. При наличии в атмосфере водяного пара и атмосферных образований, скорость распространения электромагнитной волны, излучаемой антенной судовой РЛС, будет зависеть от состава атмосферы. Изменение скорости распространения электромагнитной волны и наличия в атмосфере турбулентных неоднородностей приводит к ошибкам радиолокационного измерения дальности навигационных объектов и появлению на индикаторах РЛС ложных объектов. Поэтому актуальной задачей является оценка величины этого влияния, а решение ее направлено на повышение безопасности судождения.

**Цель исследования** заключается в оценке величины ошибки измерения дальности до объектов, вносимой атмосферой и атмосферными образованиями.

**Изложение основного материала.** Электромагнитная волна, излучаемая антенной судовой РЛС, распространяется в атмосфере, состоящей из газов, водяного пара и атмосферных образований, которые не только ослабляют энергию волны, но и вносят ошибки в измерение координат наблюдаемых навигационных объектов на пути судна.

Ослабление электромагнитной энергии (поглощение и рассеяние) ощутимо на длинах волн короче пяти сантиметров, на которых работают судовые РЛС. При наличии в атмосфере облаков и осадков скорость распространения электромагнитной волны будет иметь различное значение, в зависимости от состава атмосферы.

Рассмотрим уменьшение максимальной дальности наблюдения навигационных объектов судовой РЛС, работающей на длине волны 3 см при наличии осадков различной интенсивности с учетом приро-

ды их образования и аппроксимации законов распределения капель по размерам по Литвинову и Шифрину в соответствии с выражением:

$$R_0 = R \left[ 10^{-0.2(\gamma_r + \gamma_{oc})R} + 4 \cdot 10^7 \frac{I^{1.6}}{R^2} \right]^{1/4}, \quad (1)$$

где  $R_0$  - дальность обнаружения навигационных объектов в сухой чистой атмосфере, км;

$I$  - интенсивность выпадающих осадков, мм/ч;

$\gamma_r$  и  $\gamma_{oc}$  - удельные коэффициенты ослабления электромагнитной энергии в газах атмосферы и выпадающих осадках на пути судна, дБ/км.

Значения  $\gamma_{oc}$  с учетом распределения капель по размерам, предложенного Лоусом – Парсоном, Маршаллом – Пальмером, Келкером, Шифриным, Литвиновым, Бестом достаточно полно представлены в [3]. В работах [4,5] проведена оценка сокращения максимальной дальности обнаружения объектов, однако, без учета природы их образования. Поэтому с учетом природы образования осадков и полного перекрытия ими трассы распространения радиолокационных сигналов, а также выпадения осадков в районе наблюдаемого объекта по формуле (1) проведен расчет зависимости максимальной дальности обнаружения навигационных объектов судовой РЛС, работающей на длине волны 3 см от интенсивности выпадающих осадков в виде дождя из крупы, обзерненного и необзерненного снега. Результаты полученных расчетов для дождя из крупы, дождя из обзерненного снега и дождя из необзерненного снега при аппроксимации закона распределения капель по размерам по Литвинову представлены на рис.1(а,б,в), а на рис.2(а,б,в) для осадков той же природы, но при аппроксимации закона распределения капель по размерам по Шифрину.

Анализ полученной зависимости показал, что на длине волны 3 см вид распределения капель по размерам в осадках различной природы практически не оказывает влияния на характеристики обнаружения навигационных объектов в осадках, а влияет только на максимальную дальность их обнаружения. Даже при слабой интенсивности выпадающих осадков ( $I=0,1$  мм/ч) по трассе распространения электромагнитной волны максимальная дальность обнаружения навигационных объектов судовой РЛС сокращается до  $R = 35$  км по сравнению с максимальной дальностью их обнаружения без осадков

$R = 45$  км. Можно указать и на то, что увеличение максимальной дальности обнаружения навигационных объектов, при отсутствии выпадающих осадков, эквивалентно увеличению эффективной площади рассеяния объекта, наблюдаемого судовой РЛС.

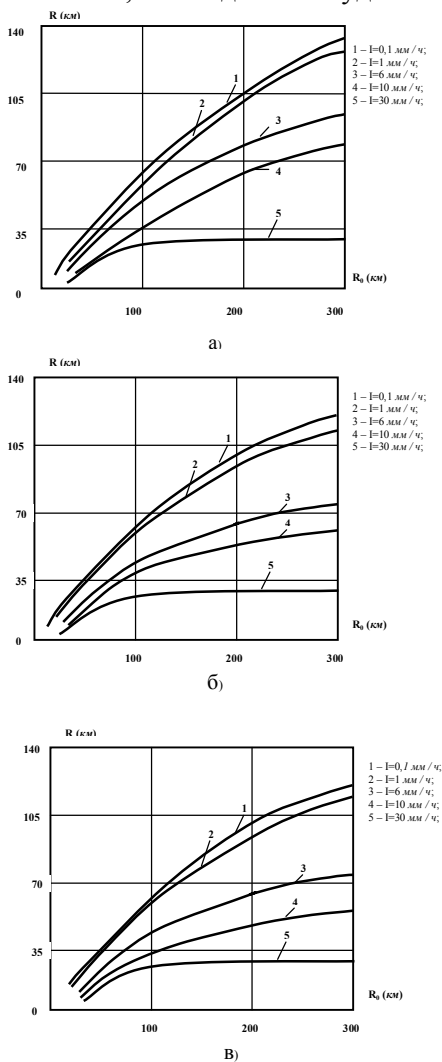


Рис.1 – Распределение по Литвинову, длина волны 3 см

а – дождь из крупы;

б – дождь из обзерненного снега;

в – дождь из необзерненного снега.

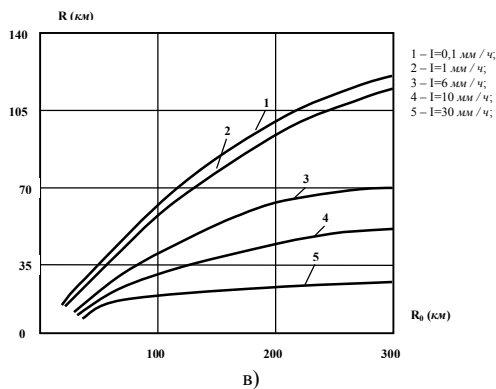
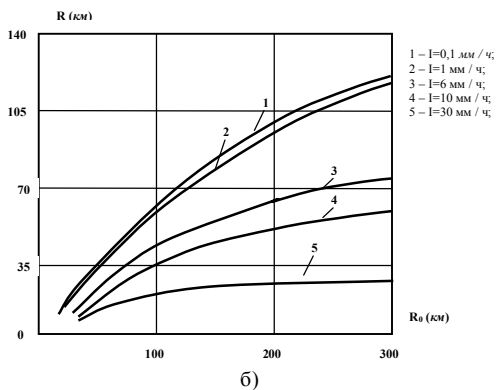
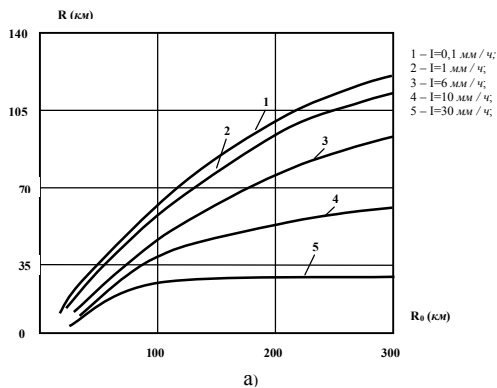


Рис.2 – Распределение по Шифрину, длина волны 3 см

а – дождь из крупы;

б – дождь из обзерненного снега;

в – дождь из необзерненного снега.

Из рис.1 и 2 видно, что увеличение интенсивности осадков от 10 мм/ч до 30 мм/ч сокращает максимальную дальность обнаружения навигационных объектов почти в два раза. При движении судна по трассе которого выпадают осадки с интенсивностью 100 мм/ч навигационный объект будет обнаружен судовой РЛС только на расстоянии 10 км при обнаружении без осадков на расстоянии 130 км. Необходимо указать и на то, что при выпадении дождя из обзерненного снега, дождь с распределением капель по размерам по Шифрину, сильнее сказывается на ухудшение радиолокационного обнаружения навигационных объектов, чем дождь с распределением по Литвинову. Так как, помимо уменьшения максимальной дальности радиолокационного обнаружения объектов, выпадающие осадки могут влиять и на точность измерения дальности, то возникает необходимость в оценке ошибки измерения дальности за счет различия в скоростях распространения волн в осадках и чистой атмосфере.

Будем считать, что по трассе распространения электромагнитной волны, излучаемой антенной судовой РЛС и отраженной от наблюдаемого объекта, выпадают атмосферные осадки протяженностью  $R_a$ . Для рассматриваемого случая время  $t$  распространения электромагнитной волны до объекта и обратно по трассе  $R_a$  определяется из условия:

$$t = 2 \int_0^{R_a} \frac{dR}{v(R_a)} \quad , \quad (2)$$

где  $v(R_a)$  - закон изменения скорости распространения электромагнитной волны в осадках для рассматриваемой трассы.

Тогда различие времени  $\Delta t$  распространения волны в выпадающих осадках и атмосфере без осадков определяется из условия:

$$\Delta t = 2 \int_0^{R_a} \left[ \frac{1}{v(R_a)} + \frac{1}{c} \right] dR \quad , \quad (3)$$

где  $c$  – скорость распространения волны в атмосфере без осадков, м/с.

С учетом (2) и (3) ошибка определения дальности до навигационного объекта определяется следующим образом:

$$\Delta R = \int_0^{R_a} \left[ \frac{c}{v(R_a)} - 1 \right] dR = \int_0^{R_a} [n(R_a) - 1] dR \quad (4)$$

Здесь  $n(R_a)$  – закон изменения коэффициента преломления в осадках по трассе распространения электромагнитной волны.

При отсутствии выпадающих осадков между судовой РЛС и навигационным объектом коэффициент преломления атмосферы можно считать постоянным по всей трассе распространения электромагнитной волны и ошибка в радиолокационном измерении дальности для данного случая определяется по формуле:

$$\Delta R = (n - 1)R_a \quad (5)$$

Однако, при радиолокационном наблюдении навигационных объектов судовой РЛС трасса распространения электромагнитной волны может содержать участки с осадками и без них, т.е. с различными значениями коэффициента преломления атмосферы, тогда для таких участков формула (5) запишется в виде:

$$\Delta R = \sum_{i=0}^l (n_i - 1)R_{a_i} \quad (6)$$

Для оценки влияния выпадающих осадков на точность радиолокационного измерения дальности до навигационного объекта возникает необходимость в определении пределов, в которых изменяется значение коэффициента преломления в сухой, влажной атмосфере и в атмосфере с выпадающими осадками. При этом, исходя из [2], для коэффициента преломления атмосферы можно записать:

$$n = 1 + \frac{80}{T} \left( P + \frac{4810}{T} e \right) + \frac{3}{2} \rho \omega \left( \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right), \quad (7)$$

где  $T, P, e, \rho, \omega$  – соответственно температура в градусах Кельвина, парциальное давление водяного пара, плотность и водность атмосферного аэрозоля;

$m$  – комплексный показатель преломления вещества аэрозоля.

При  $\rho = 1, \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| \approx 1$ ,  $P = 1000$  мб, третье слагаемое в (7) имеет величину  $1,5 \cdot 10^{-6}$ , второе слагаемое при  $T = 300$  °K,  $P = 1000$  мб,  $e = 26$  мб имеет значение равное  $0,5 \cdot 10^{-3}$ .

Подставив (7) в (4), получим:

$$\Delta R = \left[ 80 \cdot 10^{-6} \left( P + \frac{4810}{T} e \right) + \frac{3}{2} \rho \omega \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| \right] R_a . \quad (8)$$

В уравнении (8) первое слагаемое определяется влажным воздухом внутри атмосферного образования, а второе слагаемое его аэрозольной фракцией, которое меньше первого в три раза при реальных водностях в атмосферных образованиях, давлении и температуре. Поэтому уравнение (8) можно записать в виде:

$$\Delta R = \frac{80}{T} 10^{-6} \left( P + \frac{4810}{T} e \right) R_a . \quad (9)$$

Для практического вычисления суммарной ошибки радиолокационного измерения дальности до навигационных объектов судовой РЛС, обусловленной влиянием чистой атмосферы и выпадающих осадков по трассе распространения электромагнитной волны необходимо использовать преобразованную формулу (8) с учетом коэффициента преломления атмосферы и выпадающих осадков, т.е.

$$\Delta R_{no} = \sum_{i=0}^l (n_i - 1) R_i + \sum_{j=0}^k (n_a - 1) R_j , \quad (10)$$

где  $n$  – коэффициент преломления атмосферы без осадков;

$n_a$  – коэффициент преломления в осадках;

$l$  – число участков атмосферы без осадков;

$k$  – число участков с осадками;

$R_i$  и  $R_j$  – протяженность участков в безоблачной атмосфере и осадков соответственно для различных значений коэффициента преломления ( $n - 1$ ) в зависимости от протяженности участков с определенными величинами коэффициента преломления.

### Выводы

1. Используются законы распределения частиц различных осадков по Литвинову и Шифрину с учетом природы их образования для

оценки уменьшения максимальной дальности обнаружения навигационных объектов судовыми РЛС, работающих на длине волны 3 см.

2. Проведен анализ влияния выпадающих осадков различной интенсивности на сокращение максимальной дальности обнаружения навигационных объектов судовыми РЛС.

3. Установлено, что при наличии по трассе распространения электромагнитной энергии, излучаемой судовой РЛС, участков атмосферы с осадками и без осадков, суммарная ошибка в измерении дальности до навигационного объекта определяется значениями коэффициентов преломления чистой атмосферы и выпадающих осадков.

Дальнейшие исследования будут посвящены влиянию атмосферы и атмосферных образований на точность измерения угловых координат навигационных объектов судовыми РЛС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Titov Yu. M. the Influence of meteorological conditions on radio wave propagation in the troposphere [Text] / Y. M. Titov //Proceedings of LICA them. A. F. Mozhaysky. - 1965, Vol. 489. – S. 45-52.
2. Pavlov N. F. To assess the impact of atmospheric formations on the accuracy of radar range measurements [Text] / N. F. Pavlov // Proceedings of LICA them. A. F. Mozhaysky. - 1969, Vol. 549. – S. 15-32.
3. M. Krasnyuk, P. Influence of the troposphere and the underlying surface on the radar [Text] / M. P. Kryukov, V. L. Koblov, V. N. Krasnyuk. – М.: Radio and communication, 1988. – P.216.
4. Stepanenko V. D. Radar in meteorology [Text] / V. D. Stepanenko . – L.: Gidrometeoizdat, 1966. – 350.
5. Krasnyuk N. P. The ship's radar and meteorology / N. P. Kryukov, V. I. Rosenberg. – Leningrad: Sudostroenie, 1970. – 328 p
6. Титов Ю.М. Влияние метеорологических условий на распространение радиоволн в тропосфере [Текст] / Ю.М. Титов //Труды ЛВИКА им. А.Ф. Можайского. - 1965, Вып. 489. – С. 45-52.
7. Павлов Н.Ф. К оценке влияния атмосферных образований на точность радиолокационного измерения дальности [Текст] / Н.Ф. Павлов // Труды ЛВИКА им. А.Ф. Можайского. - 1969, Вып. 549. – С. 15-32.



8. Красюк М.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС [Текст] / М.П.Красюк, В.Л.Коблов, В.Н. Красюк. – М.: Радио и связь, 1988. – 216с.
9. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии [Текст] / В.Д. Степаненко. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 350 с.
10. Красюк Н.П. Корабельная радиолокация и метеорология / Н.П. Красюк, В.И. Розенберг. – Л.: Судостроение, 1970. – 328 с.