

ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НИЗКОЛЕТАЮЩИХ ЦЕЛЕЙ В МОРСКИХ ТРОПОСФЕРНЫХ ВОЛНОВОДАХ НА ЗАГОРИЗОНТНЫХ ДАЛЬНОСТЯХ

Е.В. Цехмистров
(представил д.т.н., проф. А.В. Полярус)

Оценены показатели качества обнаружения низколетающих целей в морских тропосферных волноводах при условии существования последних. Определены требования к точности измерения профилей показателя преломления по высоте, при которых возможен захват радиоволн в волновод.

Необходимыми условиями обнаружения низколетающих целей (НЛЦ) в морском тропосферном волноводе являются существование тропосферного волновода, попадание в него цели и достаточная плотность потока мощности, распространяющаяся внутри волновода.

Для того, чтобы убедиться в существовании тропосферного волновода, необходимо знать распределение показателя преломления по высоте. Это распределение показателя преломления можно измерить при помощи рефрактометра, а также радиотехническими методами с искусственного спутника Земли, вертолета или радиозонда, запускаемого в нижнюю часть атмосферы небольшой ракетой [1].

Высотные профили показателя преломления можно рассчитать различными способами, например, при помощи решения уравнения турбулентной диффузии для потенциального модуля показателя преломления с использованием приземных метеоизмерений [2]. Сравнение расчетного профиля показателя преломления и полученного экспериментально показывают, что погрешность измерения составляет ≈ 1 N-ед в случае, когда ветер дует с моря на сушу и ≈ 3 N-ед в случае, когда ветер дует с суши на море.

Возможно также восстановление профиля показателя преломления по измерениям оптической рефракции [3]. Анализ ошибок восстановления по рассматриваемой методике показывает, что типичная среднеквадратичная ошибка измерений углов рефракции $\sigma_\epsilon \approx 30''$ вызывает ошибки в определении индекса рефракции $\sigma_N \approx 3 \cdot 10^{-8}$.

Убедиться в существовании тропосферного волновода можно по отражению от реперных точек, в качестве которых можно использовать противоположный берег моря или свои корабли. Однако, если отражений от реперных точек нет, то это не означает, что тропосферный вол-

новод не существует, так как реперная точка может не попадать в тропосферный волновод, либо плотность потока мощности в данной точке недостаточна.

Для типичной зависимости модифицированного индекса рефракции от высоты, полученной в экспериментах, были найдены границы изменения модифицированного индекса рефракции, при которых возможен захват радиоволны в тропосферный волновод путем изменения значений точек А, В, С по оси ординат (рис. 1).

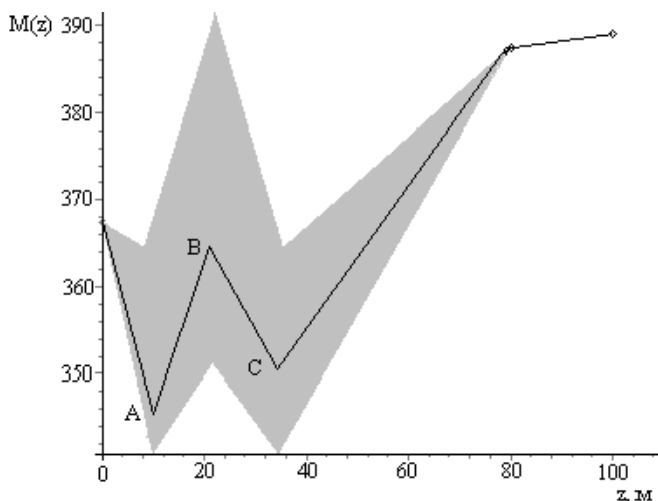


Рис.1. Границы изменения модифицированного индекса рефракции, обеспечивающие возможность захвата радиолокационной волны в тропосферный волновод

При проведении эксперимента, описанного в [4], погрешность измерения флуктуационной составляющей показателя преломления составляла ± 0.01 N-ед, а погрешность определения среднего значения N- не хуже 0.1 N-ед, что вполне удовлетворяет теоретически полученным данным (рис. 1).

Расчет показал, что даже при существовании тропосферного волновода, цель может быть не обнаружена. Во - первых, цель может находиться на высоте не совпадающей с высотой тропосферного волновода Н, а во - вторых, волновод из-за влияния горизонтальных неоднородностей тропосферы может быть либо расширяющимся, либо сужающимся. Траектории радиоволн в вертикальной плоскости для этого случая приведены на рис. 2,а,б. Расширение волновода приводит к снижению плотности потока мощности, распространяющемуся по волне и на определенных дальностях энергии будет недостаточно для обнаружения цели.

Если волновод сужается, то на определенных дальностях исчезнет его практическая значимость для обнаружения цели. Таким образом, возникает задача определения горизонтального градиента показателя преломления на высоте существования волновода.

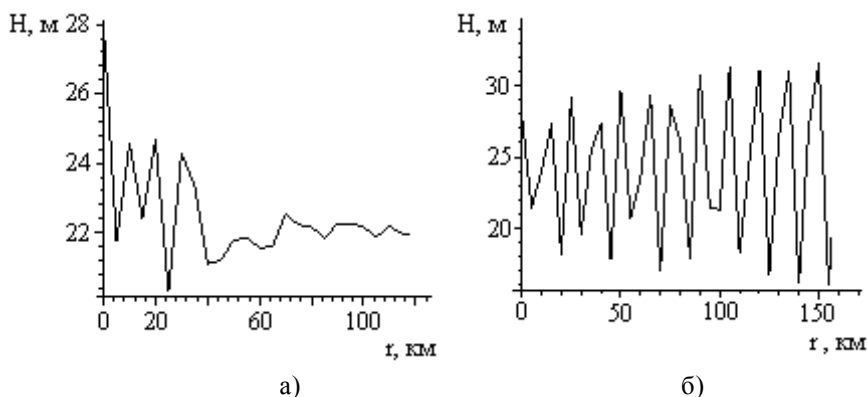


Рис. 2. Виды траекторий распространения радиоволн в тропосферном волноводе при наличии горизонтальных градиентов показателя преломления тропосферы

Наличие переменных горизонтальных градиентов также затрудняет обнаружение и сопровождение цели в тропосферном волноводе. Пример траектории радиоволн для такого случая приведен на рис. 3.

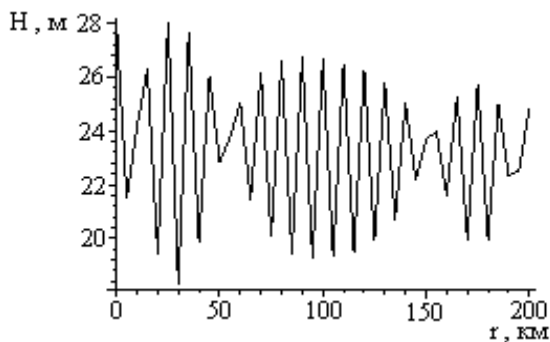


Рис. 3. Пример траектории радиоволны в тропосферном волноводе при наличии переменных горизонтальных градиентов показателя преломления

Таким образом, для оценки параметров тропосферного волновода

необходимо знать вертикальное распределение показателя преломления и его горизонтальный градиент.

Вместе с тем, точность прогнозирования возможного захвата радиоволн в тропосферный волновод зависит не только от точности измерения $M(z)$, но и от точности решения дифференциального уравнения, с помощью которого рассчитывались приведенные выше траектории радиоволн.

Для двух радиолокационных станций (РЛС) были найдены вероятности правильного обнаружения цели в морском тропосферном волноводе, распределение модифицированного индекса рефракции в котором показано на рис. 1. Полученные результаты представлены на рис. 4,а,б.

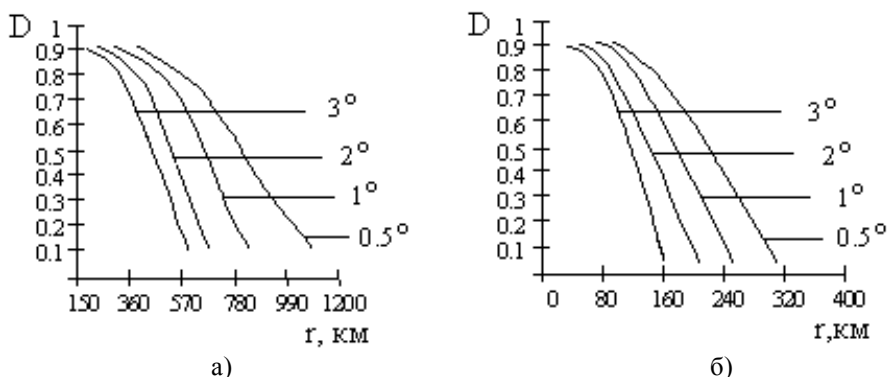


Рис. 4. Вероятности обнаружения низколетящей цели в тропосферном волноводе для РЛС с различными характеристиками при условной вероятности ложной тревоги 10^{-6}

Рис. 4,а соответствует радиолокационной станции большой мощности, а рис. 4,б – РЛС малой мощности. Кривые получены для различной ширины диаграммы направленности (ДН) антенны радиолокационной станции (в градусах) в вертикальной плоскости, что отмечено на графиках. При этом предполагалось, что максимум ДН антенны РЛС направлен непосредственно в область захвата радиоволн в тропосферный волновод.

Были рассчитаны также вероятности обнаружения цели при различных параметрах тропосферного волновода (рис. 5). При расчетах изменялся коэффициент γ , показывающий, какая часть излученной энергии попадает в тропосферный волновод. Этот коэффициент обычно принимает значения от $\gamma \approx 0.8$ при ширине ДН антенны в вертикальной плоскости $2\Theta_{0.5p}^0 \approx 1^\circ$ до $\gamma \approx 0.3$ при $2\Theta_{0.5p}^0 \approx 5^\circ$.

Таким образом, если плотность потока мощности достаточна для обнаружения цели, то цель может быть обнаружена с приемлемой вероятностью на расстояниях в десятки - сотни километров в зависимости от

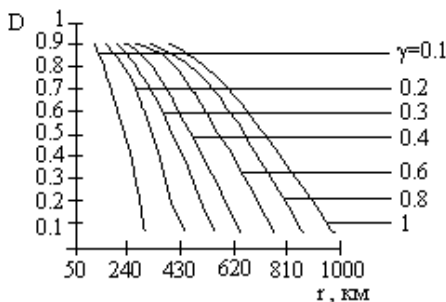


Рис. 5. Вероятности обнаружения низколетающей цели с различными параметрами тропосферного волновода

характеристик РЛС и параметров тропосферного волновода. Полученные дальности значительно превышают дальности прямой видимости РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rowland, J.R., Babin, S.M.: Fine-scale measurements of microwave profiles with helicopter and low cost rocket probes // John Hopkins APL Tech. Dig. – 1987. – №8 (4). – P. 413 - 417.
2. Андрианов В.А., Ракитин Б.В. Пространственная структура показателя преломления вблизи границы суша – море // Радиотехника и электроника. – 1980. – № 8. – С. 1624 - 1628.
3. Загоруйко С.В., Кан В. Восстановление профиля показателя преломления и температуры по измерениям оптической рефракции // Радиотехника и электроника. – 1984. – № 8. – С. 1457 - 1461.
4. Дорфман Н.А., Кабанов В.А., Кивва Ф.В., Тургенев И.С. Рефрактометрические измерения показателя преломления в приземном слое // Радиотехника. – 1980. – № 52. – С. 91 - 93.

Поступила в редколлегию 26.02.2001