

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ РАДИОЛИНИИ «КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ – НАЗЕМНЫЙ ПРИЕМНИК»

Я. О. Жевняк

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
zhevnyakuadviga@gmail.com;
науч. рук. – А. В. Поляков, канд. физ.-мат. наук, доц.*

Настоящая статья посвящена исследованию источников затухания и зашумления радиосигналов при распространении в естественных радиотрассах. Приведена методика расчета энергетических потерь радиосигнала в спокойной атмосфере. Также приведен расчет эквивалентной шумовой температуры приемной системы. Получены частотные зависимости энергетических потерь и шумовой температуры приемной антенны. Установлен диапазон частот, соответствующий минимальным энергетическим потерям.

Ключевые слова: энергетические потери радиолинии, потери в атмосфере, шумовая температура.

ВВЕДЕНИЕ

К сегодняшнему дню спутниковые радионавигационные системы были внедрены почти во все сферы человеческой жизни. Помимо военной и гражданской навигации они нашли свое применение в топографии, геодезии, службах точного времени, строительстве, сельском хозяйстве, добыче полезных ископаемых, спасательных работах и т.д. [1]. Столь широкое распространение показывает, насколько важным является обеспечение передачи навигационной информации с требуемой скоростью и достоверностью.

Выбор параметров радиолинии, в особенности рабочего диапазона частот, определяется множеством факторов, оказывающих влияние на величину энергетического запаса в радиолинии. В данной работе приведено описание математической модели энергетических потерь радиосигнала в атмосфере. Целью проведения исследования является определение частотных зависимостей параметров, характеризующих потери и шумы в радиолинии.

ПОТЕРИ В АТМОСФЕРНЫХ ГАЗАХ

Потери сигнала в спокойной атмосфере обусловлены в основном поглощением кислородом и водяным паром тропосферного слоя [2].

Удельное поглощение кислородом, дБ/км:

$$L'_k = 0.321 \frac{Pf^2}{T^2} \left[\frac{\Delta_1 P}{(f/30)^2 + (\Delta_1 P)^2} + \frac{\Delta_2 P}{(2 + f/30)^2 + (\Delta_2 P)^2} + \frac{\Delta_2 P}{(2 - f/30)^2 + (\Delta_2 P)^2} \right], \quad (1)$$

удельное поглощение водяным паром, дБ/км:

$$L'_b = 5.72 \frac{\rho f^2}{T^{2.5}} e^{\frac{644}{T}} \left[\frac{\Delta_3 P}{(f/30 - 0.741)^2 + (\Delta_3 P)^2} + \frac{\Delta_3 P}{(f/30 + 0.741)^2 + (\Delta_3 P)^2} + \frac{0.0163 \rho f^2 \Delta_3 P}{T} \right], \quad (2)$$

где f – частота радиосигнала, ГГц; P – давление, кПа; T – температура, К; ρ – средняя абсолютная влажность воздуха, г/м³; коэффициенты $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ равны:

$$\Delta_1 = \frac{1.26 \cdot 10^{-2}}{T^{0.75}}; \Delta_2 = \frac{3.5 \cdot 10^{-2}}{T^{0.75}}; \Delta_3 = \frac{1.53 \cdot 10^{-2}}{T^{0.5}} (1 + 0.0046\rho).$$

Полные потери в спокойной атмосфере определяются как

$$L_c = \frac{h_k L'_k + h_b L'_b}{\sin \gamma}, \quad (3)$$

где h_k – высота слоя кислорода; h_b – высота слоя водяного пара; γ – угол места антенны земной станции.

В стандартной атмосфере ($T = 290$ К, $P = 101$ кПа, $\rho = 8$ г/м³) высота слоя кислорода $h_k \approx 6$ км, а высота слоя водяного пара рассчитывается по формуле:

$$h_b = \left[2.2 + \frac{3}{(f - 22.3)^2 + 3} + \frac{1}{(f - 183.3)^2 + 1} + \frac{1}{(f - 323.8)^2 + 1} \right]. \quad (4)$$

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА СИСТЕМЫ

Общую мощность шумов на входе приемного устройства можно рассчитать согласно:

$$T_{\text{экв}} = T_A \cdot L_{\text{прм}} + 290 \cdot (1 - L_{\text{прм}}) + (F - 1) \cdot 290, \quad (5)$$

где T_A — шумовая температура приемной антенны, К; F — коэффициент шума приемного малошумящего усилителя; $L_{\text{прм}}$ — потери от выхода антенны до входа приемного малошумящего усилителя [3].

Шумовая температура приемной антенны земной станции рассчитывается согласно:

$$T_a = T_{\text{ат}} + \frac{T_k}{L_a} + \alpha T_{\text{зак}}, \quad (6)$$

где T_k – шумовая температура космического радиоизлучения; $T_{\text{ат}}$ – шумовая температура атмосферы; $T_{\text{зак}}$ – шумовая температура Земли с учетом отраженных от нее атмосферных и космических шумов; $\alpha = 0,2-0,4$ – коэффициент, учитывающий прием результирующего шумового излучения Земли только по боковым лепесткам диаграммы направленности.

Шумовая температура атмосферы определяется как

$$T_{\text{ат}} \cong 275 \frac{L_a - 1}{L_a} \quad (7)$$

Шумовая температура Земли с учетом отраженных от нее космических и атмосферных шумов рассчитывается согласно:

$$T_{\text{зак}} = 290 - \Phi^2 \left(290 - 275 \frac{L_a - 1}{L_a} - \frac{T_k}{L_a} \right) \quad (8)$$

где Φ^2 – модуль коэффициента отражения земной поверхности (по мощности).

На приведенных ниже рисунках представлены частотные зависимости удельных потерь энергии сигнала в спокойной атмосфере и шумовой температуры приемной антенны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Получено, что для интервала частот 1,2–1,6 ГГц, на которых работают радионавигационные спутники, основные потери в спокойной атмосфере происходят на молекулах кислорода, и величина данных потерь составляет приблизительно $7,5 \cdot 10^{-3}$ дБ/км.

2. Установлено, что частоты сигналов спутников находятся вблизи минимума эквивалентной шумовой температуры приемной антенны (90 К) при угле места 30° .

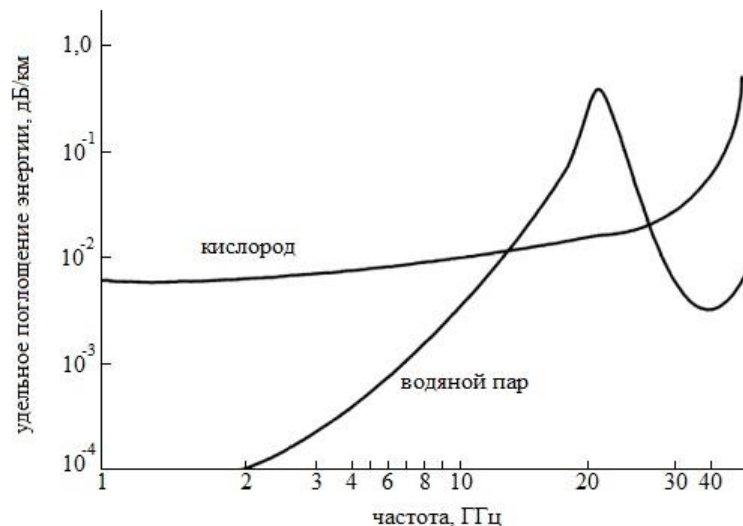


Рис. 1. Составляющие удельных потерь сигнала в спокойной атмосфере ($T = 290$ К, $P = 101$ кПа, $\rho = 8$ г/м³)

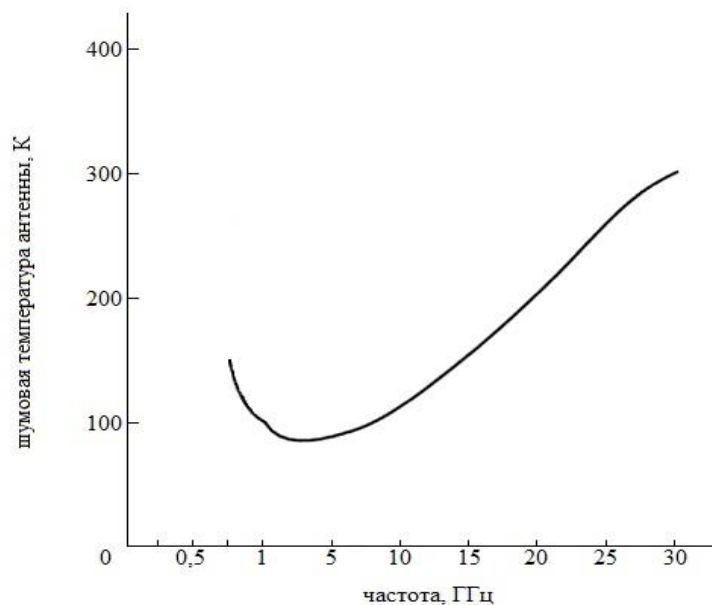


Рис. 2. Шумовая температура приемной антенны
угол места $\gamma = 30^\circ$

Библиографические ссылки

1. GPS Applications [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gps.gov/applications/> (дата обращения: 05.05.2021).
2. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: учеб. пособие. М.: «Альпина Паблишер», 2004.
3. Ерохин Г. А., Мандель В. И., Нестеркин Ю. А., Струков А. П. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат – станция» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5, № 1. С. 65–74.