



ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

Электронный научный журнал
Издается ежемесячно с декабря 2018 года
Является печатной версией сетевого журнала
Инженерные решения

Выпуск: 1(2)

Январь 2019

Новосибирск
2019

УДК 004+62
ББК 3
И622

Главный редактор:

Величко Сергей Анатольевич, д-р техн. наук.

Редакционная коллегия:

Звездина Марина Юрьевна, канд. техн. наук, д-р физ.-мат. наук;

Каракеян Валерий Иванович, д-р техн. наук;

Королев Владимир Степанович, канд. физ.-мат. наук;

Мартышкин Алексей Иванович, канд. техн. наук;

Милостная Наталья Анатольевна, канд. техн. наук;

Наумкин Николай Иванович, канд. техн. наук, д-р пед. наук;

Немирова Любовь Федоровна, канд. техн. наук;

Семашко Николай Александрович, д-р техн. наук;

Федосин Сергей Алексеевич, канд. техн. наук;

И622 Инженерные решения: эл.научный журнал. – 2019 – № 1(2). – 52 с. –
<https://journaltech.ru/archive/2>

Учредитель и издатель: ООО «Грани науки»

Содержание

Инновации	4
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕМБРАННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА Гордин Михаил Валерьевич Шевченко Игорь Владимирович	4
РАСЧЁТ УСТАНОВЛЕННОЙ И РАСЧЁТНОЙ МОЩНОСТИ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ ДЛЯ ИНВЕРТОРА С ОГРАНИЧЕННОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ Эргашев Сирожиддин Фаязович Тожибоев Абдор Кахорович	11
Математические и компьютерное моделирование	17
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ Гладковский Виктор Иванович Борушко Вадим Васильевич	17
Радиотехника и связь	21
ОЦЕНКА ЗОНЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КОРАБЕЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ Обидин Егор Владимирович Аникин Сергей Николаевич	21
Строительство и архитектура	26
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СИСТЕМАМ ОСТЕКЛЕНИЯ ЗДАНИЙ Невзорова Алла Брониславовна Самсонов Андрей Васильевич Владислав Валерьевич Невзоров	26
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ФОНТАНОВ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ Церковная Оксана Георгиевна	31
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ И РИСКА НАСТУПЛЕНИЯ АВАРИЙНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ Шмелев Геннадий Дмитриевич	36
Технологии машиностроения	40
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА АБВ "IRB 6620", ИСПОЛЬЗУЮЩЕГОСЯ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ Поезжаева Елена Вячеславовна Ильина Алёна Александровна Шиянова Алина Владимировна	40
Технология продовольственных продуктов	43
ВЛИЯНИЕ ВИДА КОАГУЛЯНТА НА СВОЙСТВА КОЗЬЕГО СЫРА Зюзина Ольга Владимировна Дрогунова Марина Сергеевна Машук Валерия Владиславовна	43
Энергетика	46
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ Арцишевский Ян Леонардович Гармашук Сергей Эдуардович	46

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ОЦЕНКА ЗОНЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КОРАБЕЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Обидин Егор Владимирович

*студент 2 курса магистратуры, группа И4М31, кафедра радиоэлектронных систем управления,
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: egorobidin@inbox.ru*

Аникин Сергей Николаевич

*канд. техн. наук, ст. преподаватель, кафедра радиоэлектронных систем управления,
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: anikin-81@mail.ru*

EVALUATION OF THE SHIP RADAR STATION DETECTION ZONE IN A VERTICAL PLANE

Egor Obidin

*second-year master student, I4M31 study group, department of radioelectronic control systems,
BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov,
Russia, St. Petersburg*

Sergei Anikin

*candidate of engineering sciences, senior lecturer, department of radioelectronic control systems,
BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov,
Russia, St. Petersburg*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена методика расчета зоны обнаружения импульсной радиолокационной станции (РЛС) на примере «AN/SPY-1» – американской многофункциональной трёхкоординатной РЛС с фазированной антенной решёткой (ФАР).

Предложен метод оценки коэффициента затухания электромагнитной волны сантиметрового диапазона в атмосфере в зависимости от высоты.

ABSTRACT

The article describes the calculation method of pulse radar detection zone by example of American multifunctional three-dimensional phased-array radar «AN/SPY-1». It gives evaluation method of electromagnetic S-band wave attenuation coefficient in the atmosphere depending on altitude.

Ключевые слова: SPY-1B, затухание электромагнитной волны, зона обнаружения, импульсная РЛС.

Keywords: SPY-1B, electromagnetic wave attenuation, detection zone, pulse radar.

Под зоной обнаружения понимается область пространства, в границах которой обеспечивается обнаружение цели с заданным средним значением эффективной площади рассеивания (ЭПР) при вероятностях правильного обнаружения и ложной тревоги не хуже заданных.

Зона обнаружения РЛС зависит от тактико-технических характеристик (ТТХ) станции, ЭПР цели, параметров среды распространения радиоволны. Если данные по ТТХ РЛС и диапазон ЭПР цели априорно известны, то характеристики среды распространения изменяются со временем и высотой.

Поэтому для оценки максимальной зоны обнаружения необходимо учитывать изменение параметров атмосферы.

Корабельные РЛС используют дециметровый и сантиметровый диапазоны длин волн, которые подвержены значительным затуханиям в тропосфере Земли, по сравнению с более длинными волнами, используемыми в радиосвязи и телевидении.

Распространяясь в тропосфере, ультракороткие волны затухают. Причинами затухания являются:

- поглощение энергии электромагнитных волн газами атмосферы, гидрометеорами, частицами пыли и дыма;

- рассеяние электромагнитных волн жидкими и твердыми частицами, которое ведет к уменьшению плотности потока мощности волны. Убывание плотности потока мощности электромагнитной волны с расстоянием вследствие поглощения и рассеяния происходит по экспоненциальному закону.

Дальность обнаружения цели без учета затухания электромагнитной волны рассчитывается как функция:

$$R_{\text{обн}} = f(P_{\text{имп}}, P_{\text{сред}}, f_{\text{имп}}, \lambda, P_{\text{обн}}, P_{\text{лт}}, n, S_{\text{ш}}, G_a, \sigma, n) \quad (1)$$

где $P_{\text{сред}}$ – средняя мощность излучения, Вт; $P_{\text{имп}}$ – мощность излучения в импульсе, Вт; $f_{\text{имп}}$ – частота следования импульсов, Гц; $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения; $P_{\text{лт}}$ – вероятность ложной тревоги; n – число импульсов, отраженных от цели за время обзора ячейки пространства; λ – длина волны излучения, м; $S_{\text{ш}}$ – спектральная плотность собственных шумов приемника; G_a – коэффициент направленного действия антенны; σ – ЭПР цели, м².

В общем случае формула (1) представляется в виде [2, с. 143]:

$$R_{\text{обн}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{имп}}}{P_{\text{пр мин}}} \cdot \frac{G_a^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^3}} \quad (2)$$

где $P_{\text{пр мин}}$ – мощность шумов приемника.

Мощность сигнала на входе приемника при наличии затухания определяется по формуле:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пр св}} \cdot e^{-\Gamma}, \quad (3)$$

где $P_{\text{пр св}}$ – мощность сигнала на входе приемника при отсутствии затухания;

$e^{-\Gamma}$ – множитель ослабления;

Γ – коэффициент суммарного затухания.

Величина множителя ослабления зависит от коэффициента затухания и расстояния до цели

$$\Gamma = 2 \int_0^R \alpha(R) dR. \quad (4)$$

На рисунке 1 изображено значение коэффициента затухания в атмосфере в зависимости от длины волны [2, с. 167].

В таблице 1 приведены значения коэффициента затухания, полученные по рисунку 1 для сантиметрового и дециметрового диапазона.

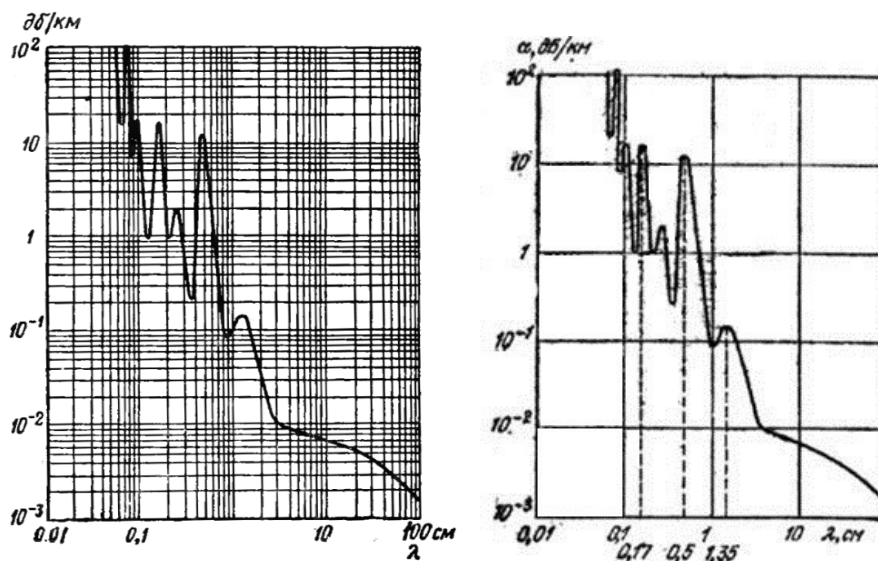


Рисунок 1. Коэффициент затухания α в атмосфере на высоте 0 м

Поглощение энергии молекулами газов зависит от частоты электромагнитной волны. При этом существуют области резонансного поглощения, где интенсивность поглощения резко возрастает, например, при длине волны 1,35 см (частота 22,2

МГц), 0,5 см (60 МГц) или 0,17 см (176,5 МГц). Частоты резонансного поглощения близки к частотам собственных внутримолекулярных переходов или совпадают с ними.

Таблица 1.

Значения коэффициента затухания электромагнитной волны в атмосфере

λ , см	α , Дб/км	λ , см	α , Дб/км
1	0,102	10	$7 \cdot 10^{-3}$
1,35	0,141	20	$5,421 \cdot 10^{-3}$
2	0,035	30	$4,393 \cdot 10^{-3}$
3	0,011	40	$3,549 \cdot 10^{-3}$
4	$9 \cdot 10^{-3}$	50	$3 \cdot 10^{-3}$
5	$8,513 \cdot 10^{-3}$	60	$2,521 \cdot 10^{-3}$
6	$8,179 \cdot 10^{-3}$	70	$2,199 \cdot 10^{-3}$
7	$7,847 \cdot 10^{-3}$	80	$1,879 \cdot 10^{-3}$
8	$7,615 \cdot 10^{-3}$	90	$1,682 \cdot 10^{-3}$
9	$7,363 \cdot 10^{-3}$	100	$1,538 \cdot 10^{-3}$

Так как коэффициент α зависит от параметров воздуха, то изменение коэффициента с высотой опишем по формуле

$$\alpha_{\text{троп}}(\lambda, h) = \alpha_{\text{троп}}(\lambda) \cdot \frac{n(h)}{n(0)}, \quad (5)$$

где $n(h)$ – концентрация молекул в воздухе на высоте h ;

$n(0)$ – концентрация молекул в воздухе на высоте 0 м.

Ниже приведена формула расчета концентрации частиц воздуха в зависимости от высоты [1, с. 164]

$$n(h) = 7,243611 \cdot 10^{22} \cdot \frac{P(h)}{T(h)}, \quad (6)$$

где $P(h)$ – значение давления атмосферы;

$T(h)$ – значение температуры атмосферы.

На рисунке 2 изображено изменение затухания энергии электромагнитной волны при прохождении через ионосферу [2, с. 170].

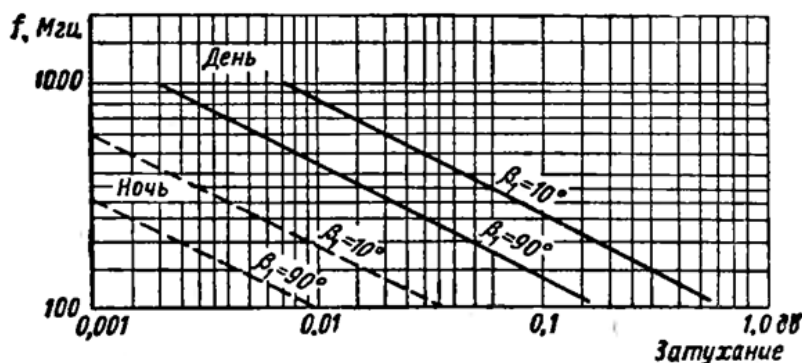


Рисунок 2. Затухание электромагнитной волны в ионосфере при распространении в одном направлении

На рисунке представлены данные затухания волны для цели на высоте 1000 км, и угла места луча β_1 у нижней границы атмосферы для ночного и дневного времени суток. На основе рисунка и гипотезы об экспоненциальном затухании (3) методом линейной экстраполяции были получены зависимости коэффициента затухания $\alpha_{\text{ион}}(\lambda)$ при прохождении луча через ионосферу для угла $\beta_1 = 90$ град при λ менее 30 см:

– для ночного времени суток

$$\alpha_{\text{ион}}(\lambda) = \frac{10^{-1,531 \cdot \log_{10} \frac{300}{\lambda} + 1,062}}{900}. \quad (7)$$

– для дневного времени суток

$$\alpha_{\text{ион}}(\lambda) = \frac{10^{-1,518 \cdot \log_{10} \frac{300}{\lambda} + 2,379}}{900}. \quad (8)$$

Значение λ в формулах (7), (8) в см. Значение $\alpha_{\text{ион}}$ в формулах (7), (8) в дБ/км.

Тогда коэффициент затухания в зависимости от высоты и длины волны определяется как

$$\alpha(\lambda, h) = \begin{cases} \alpha_{\text{троп}}(\lambda, h) & \text{при } h < 70 \text{ км} \\ \alpha_{\text{ион}}(\lambda) & \text{при } h \geq 70 \text{ км} \end{cases}. \quad (9)$$

Максимальная дальность радиолокационного наблюдения в случае затухания электромагнитных волн запишется в виде

$$R_{\text{макс}} = R_{\text{св макс}} \cdot e^{-0,115 \cdot \int_0^{R_{\text{макс}}} \alpha(R) dR}, \quad (10)$$

где $\alpha(R)$ выражено в дБ/км.

Допущения модели

• Атмосфера однородна, процессы, протекающие в ней – стационарны;

- Не учитывается влияние гидрометеоров и подстилающей поверхности;

- Земля сферическая, радиус Земли равен 6371 км;

- ЭПР цели не флуктуирует.

Исходные данные антенны РЛС [3]

- диаметр антенны – 3,6 м;

- длина волны излучения – 9,7 см;

- мощность излучения ФАР, кВт:

- средняя – 40;

- максимальная в импульсе – 4000.

- длительность импульса, мкс:

- максимальная – 160;

- минимальная – 6.4.

- разрешающая способность по дальности в режиме обнаружения – 2 км;

- период обзора – 6 с;

- число излучающих элементов – 4350;

- спектральная плотность собственных шумов приемника – $0,4 \cdot 10^{-20}$ Вт·с;

- ширина луча диаграммы направленности – 1,4 град;

- коэффициент направленного действия антенны (с учетом потерь на излучение боковым лепесткам диаграммы направленности) – 40 дБ;

- секторы действия ФАР в пространстве угловых координат, град:

- по азимуту – 90;

- по углу места – 90.

Расчет проведен для дневного времени суток.

На рисунке 3 изображены кривые максимальной зоны обнаружения в вертикальной плоскости для цели с ЭПР 3 м², при вероятностях обнаружения от 0,85 до 0,99.

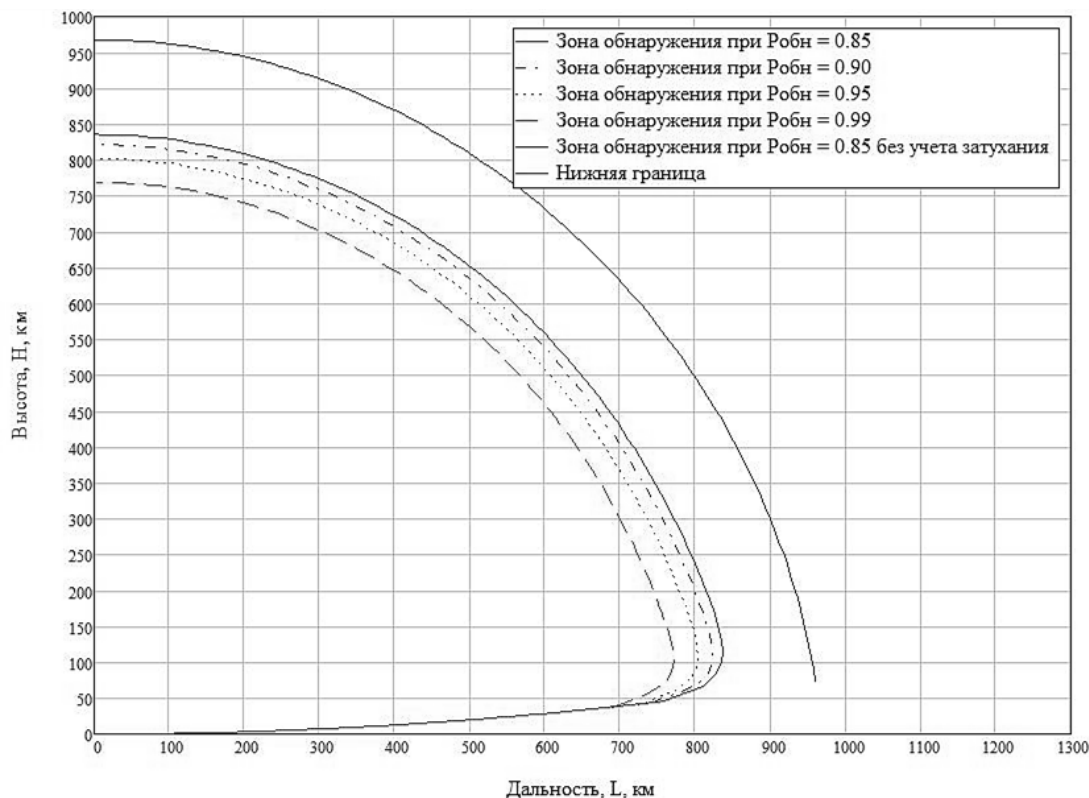


Рисунок 3. Кривые максимальной зоны обнаружения

Черной сплошной линией обозначена зона с вероятностью правильного обнаружения 0,85 без учета затухания электромагнитной волны. Наклонная дальность обнаружения в этом случае постоянна на всех углах места. Красной сплошной линией обозначена зона с той же вероятностью правильного обнаружения, но уже с учетом затухания электромагнитной волны. С увеличением угла места радиолуча протяженность трассы распространения волны в тропосферных слоях уменьшается, средний коэффициент затухания на трассе распространения падает, что ведет к увеличению наклонной дальности обнаружения. Коэффициент затухания ионосферно-

го участка меньше тропосферного, а протяженность ионосферного участка трассы распространения с увеличением угла места возрастает. Совокупность этих факторов приводит к уменьшению наклонной дальности обнаружения при увеличении угла места относительно максимального значения.

Для вероятности правильного обнаружения в 0,85 значения наклонной дальности при учете коэффициента затухания будут следующими: при угле места 0 градусов наклонная дальность составит 749 км, максимальное значение наклонной дальности в 855 км возникает при угле места в 6 градусов, дальнейшее увеличение угла места приводит к

уменьшению наклонной дальности до 842 км при угле места в 90 градусов.

Для вероятности правильного обнаружения в 0,85 значение наклонной дальности без учета коэффициента затухания составит 972 км.

Заключение

В результате проведенной работы была предложена формула (5) описывающая зависимость коэф-

фициента затухания волны от высоты. Предложены формулы (7) и (8), описывающие зависимость коэффициента затухания волны в ионосфере от длины волны.

Произведен расчет максимальной зоны обнаружения РЛС в вертикальной плоскости для углов места от 0 до 90 градусов.

Список литературы:

1. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры [Текст]. 1982. – 165 с.;
2. Дулевич В.Е. / Теоретические основы радиолокации/ В.Е. Дулевич – М.: Сов. радио, 1964. – 732 с.;
3. mostlymissiledefense. Ballistic Missile Defense: The Aegis SPY-1 Radar (August 3, 2012) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mostlymissiledefense.com/2012/08/03/ballistic-missile-defense-the-aegis-spy-1-radar-august-3-2012/> (дата обращения: 15.12.18).