

---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 537.86.029

*В. В. Жебсаин*

## **Коэффициент ослабления радиосигнала частотного диапазона 0,8-10 ГГц при экстремально низких температурах среды распространения**

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Аннотация. Как известно, климатические условия эксплуатации всех без исключения технических систем оказывают существенное воздействие на качество, надежность и сроки службы. В настоящее время изучению особенностей эксплуатации систем связи и режима распространения радиосигналов в регионах Севера уделяется недостаточно внимания. Между тем климатические условия эксплуатации систем связи в северных регионах России весьма специфичны, данные регионы не только отличаются крайне низкими атмосферными температурами, но и наличием целого ряда особенностей проявления погодных условий, в частности таких, как чрезвычайно густой ледяной туман (погонип) в зимнее время, сочетание отрицательных температур и дождя в весенне-осенний периоды и др. Для малозаселенных, но занимающих огромные территории регионов севера России, трудно переоценить роль и актуальность усовершенствования систем связи. В работе рассмотрены вопросы влияния экстремально низких температур среды, а также гидрометеоров на ослабление радиоволн частотного диапазона 0,8-10 ГГц, которые являются наиболее востребованными и перспективными для технического прогресса. Цель исследования: расчет зависимости коэффициента ослабления радиосигнала частотного диапазона 0,8-10 ГГц от температуры среды распространения при экстремально низких значениях последней. Методы исследования: аналитический – на основе анализа научно-практической

---

*ЖЕБСАИН Василий Васильевич* – зав. каф. радиофизики и электронных систем Физико-технического института СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: zhebs@mail.ru

*ZHEBSAIN Vasily Vasilyevich* – head of Department of Radio engineering and information technologies Physical-technical Institute of M.K. Ammosov North Eastern Federal University.

литературы, посвященной воздействию климатических факторов на ослабление радиоволн, и модельный – на основе разработки прикладной компьютерной программы для расчета коэффициента ослабления радиоволн. Проведен анализ научно-практической литературы, посвященной вопросам воздействия температуры среды и гидрометеоров на характеристики распространения радиосигналов рассматриваемого диапазона частот. Представлена разработанная прикладная компьютерная программа для расчета коэффициента ослабления интенсивности радиосигналов. По данной программе проведены расчеты коэффициента ослабления интенсивности радиоволн для температурного диапазона от 0°C до –60°C и его частотная зависимость. Понижение атмосферной температуры увеличивает коэффициент ослабления радиоволн. В частности, для частоты радиосигнала 6 ГГц понижение температуры воздуха с 0°C до –60 °C приводит к увеличению коэффициента ослабления в 1,5 раза. Температурная зависимость коэффициента ослабления еще больше усиливается при повышении частоты радиосигнала.

*Ключевые слова:* радиосигналы, затухание радиоволн, сантиметровые радиоволны, дециметровые радиоволны, радиосвязь, частотная зависимость, программирование, расчеты, коэффициент ослабления радиосигналов, гидрометеоры, атмосферная температура.

**DOI**

*V. V. Zhebsain*

## **The attenuation coefficient of the radio signal in the frequency range of 0.8-10 GHz at extremely low ambient temperatures**

M.K. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

**Abstract.** As you know, the climatic conditions of operation of all technical systems without exception have a significant impact on the quality, reliability and service life. Currently, insufficient attention is paid to the study of the peculiarities of the operation of communication systems and the mode of propagation of radio signals in the regions of the North. Meanwhile, the climatic conditions of operation of communication systems in the Northern regions of Russia are very specific, these regions are not only characterized by extremely low atmospheric temperatures, but also by the presence of a number of features of the manifestation of weather conditions, in particular such as extremely thick ice fog (pogonip) in the winter, the combination of negative temperatures and rain in the spring and autumn periods, etc. The paper deals with the impact of extremely low ambient temperatures, as well as hydrometeors on the attenuation of radio waves in the frequency range 800 MHz-10 GHz, which is the most popular and promising for technical progress. The aim of the study is to calculate the dependence of the attenuation coefficient of the radio signal in the frequency range of 0.8-10 GHz on the temperature of the propagation medium at extremely low values of the latter. Research methods: analytical, based on analysis of scientific literature on the impact of climatic factors on the attenuation of radio waves and model-based development of the applied computer program for calculating attenuation of radio waves. Conducted a survey of scientific literature on the impact of temperature and hydrometeors on radio propagation for the considered frequency range. The developed applied computer program for calculation of coefficient of attenuation of intensity of radio signals is presented. According to this program, the radio wave intensity attenuation coefficient for the temperature range from 0 °C to –60 °C and its frequency dependence were calculated. It is found that the decrease in atmospheric temperature increases the attenuation coefficient of radio waves. In

particular, for a radio frequency of 6 GHz, lowering the air temperature from 0 °C to –60 °C leads to an increase in the attenuation factor of 1.5 times. The temperature dependence of the attenuation coefficient is further enhanced by increasing the frequency of the radio signal.

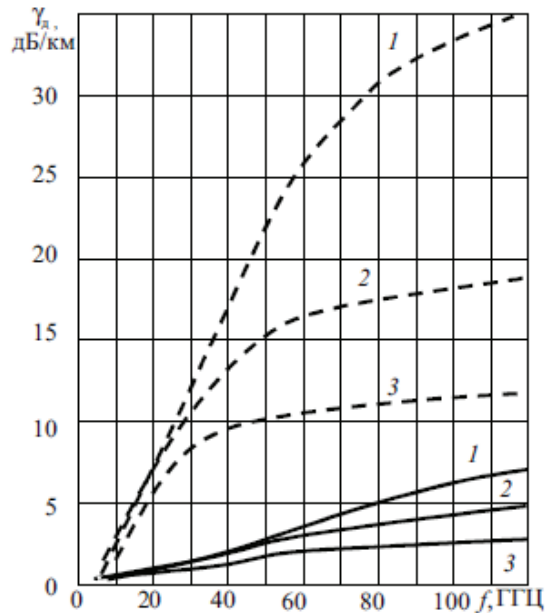
*Keywords:* radio signals, attenuation of radio waves, centimeter radio waves, decimeter radio waves, radio communications, frequency dependence, programming, calculations, attenuation coefficient of radio signals, hydrometeors, atmospheric temperature.

### **Введение**

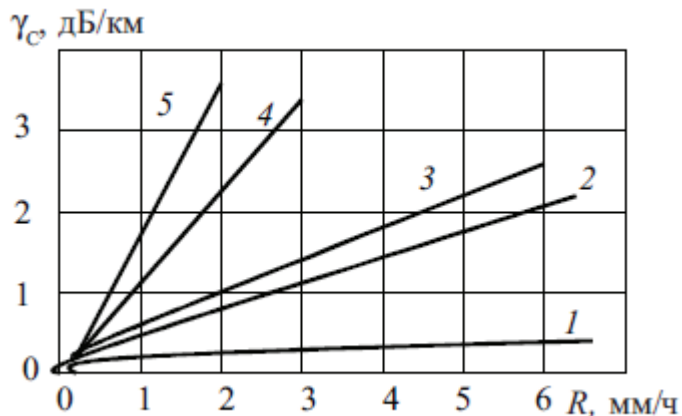
Качество и надежность функционирования систем связи особенно актуальны для малозаселенных северных регионов России. Как известно, климатические условия северных регионов России существенно отличаются от остальной части страны. Кроме экстремально низких температур, на Севере погодные явления проявляются по-особенному, в частности, это наличие чрезвычайно густого ледяного тумана (погонип) в зимнее время, сочетание отрицательных температур и дождя в весенне-осенний периоды и др. В Республике Саха (Якутия) наблюдаются максимально низкие для населенных пунктов атмосферные температуры зимой, достигающие до –60 °C–70 °C градусов ниже нуля, в то же время в этом же регионе летом воздух прогревается до 40 °C градусов выше нуля. Также одной из климатических особенностей Якутии является часто наблюдаемые гидрометеоры: мокрый снег, дождь при отрицательной температуре, туман летом, чрезвычайно густой ледяной туман (погонип) в зимнее время.

В настоящее время изучению влияния гидрометеоров и атмосферной температуры на режим распространения радиосигналов в регионах Севера уделяется недостаточно внимания. Сведения о влиянии различных гидрометеоров на распространение радиоволн в условиях умеренного климата содержатся в ряде научно-практических работ [1-7], в которых приводятся как теоретические, так и экспериментальные результаты. В некоторых работах [1-2] были рассмотрены вопросы воздействия температуры воздуха на уровень ослабления радиоволн. По мнению ряда исследователей, считается, что температурные условия оказывают незначительное воздействие на уровень затухания радиосигнала. Тем не менее, как отмечено в работе [2], массовые жалобы абонентов на качество сотовой связи имеют сезонный характер. Аналогично в условиях г. Якутска, по неподтвержденным данным, жалобы абонентов на качество сотовой связи также имеют сезонный характер, учащаясь в наиболее холодные месяцы года. Обобщая результаты вышеуказанных работ, можно отметить следующие метеорологические факторы, оказывающие воздействие на распространение радиоволн:

*Дождь.* Воздействие дождливой погоды на распространение радиоволн описано в работах [1, 3, 4]. В качестве основных факторов, ослабляющих интенсивность распространяющихся радиоволн в данных работах, отмечаются поглощение и рассеяние радиоволн. В работе [1] приведена частотная зависимость (рис. 1) коэффициента ослабления в условиях дождя с интенсивностью  $R=5$  мм/ч и  $R=50$  мм/ч.



**Рис. 1.** Частотная зависимость коэффициента ослабления в дождь с двумя интенсивностями  $R=5$  мм/ч (сплошные линии) и  $R=50$  мм/ч (пунктирные линии), при различных распределениях капель по размерам : 1 – морось, 2 – обложные дожди, 3 – грозовые дожди [1]



**Рис. 2.** Зависимость коэффициентов ослабления в снегопадах разного типа и в дожде от их интенсивности на длине волны 8,6 мм: 1 – сухой снег; 2 – влажный снег; 3 – дождь; 4 – мокрый снег; 5 – снег с дождем

Из рисунка видно, что при  $R=5$  мм/ч и для частот выше 40 ГГц наблюдается существенная зависимость ослабления от вида распределения капель дождя. При интенсивности дождя  $R=50$  мм/ч существенные различия ослабления для различных видов распределения капель наблюдаются, уже начиная с частоты 25 ГГц.

*Снегопад.* Как свидетельствуют результаты работы [1], снегопад способствует поглощению и рассеянию радиоволн. Получено, что коэффициент ослабления в снегопадах с сухим снегом существенно ниже соответствующих величин во время дождя (рис. 2).

*Туман.* Наличие тумана также приводит к ослаблению энергии радиоволн [1, 4], хотя и в меньшей степени, чем в дождь или в снегопад. Коэффициент ослабления в данном случае определяется по эмпирической формуле [1]:

$$\gamma_t = 0,483\rho/\lambda_0^2, \tag{1}$$

где  $\rho$  – влажность ( $\text{г/м}^3$ ),  $\lambda_0$  – длина волны.

В свою очередь, влажность связана с дальностью предельной оптической видимости, т. е.:

$$\rho \approx 3S^{-4,3}, \tag{2}$$

где  $S$  – дальность предельной оптической видимости.

Соотношения (1) и (2) получены для летних условий, когда туман состоит из мелких капель воды.

В настоящей работе на основе анализа результатов работ, посвященных эффектам влияния атмосферной температуры и гидрометеоров на распространение радиоволн, проведены расчеты частотной зависимости общего коэффициента ослабления интенсивности радиоволн частотного диапазона 0,8-10 ГГц для экстремально низких температур воздуха (до  $-60^\circ\text{C}$ ) по специально разработанной для этих целей прикладной компьютерной программе. Цель исследования: расчет зависимости коэффициента ослабления радиосигнала частотного диапазона 0,8-10 ГГц от температуры среды распространения при экстремально низких значениях последней. Методы исследования: аналитический – на основе анализа научно-практической литературы, посвященной воздействию климатических факторов на ослабление радиоволн, и модельный – на основе разработки прикладной компьютерной программы для расчета коэффициента ослабления радиоволн.

### Компьютерная программа

Для оценки степени воздействия различных факторов окружающей среды на характеристики распространения радиоволн при помощи среды программирования Embarcadero RAD Studio была разработана прикладная компьютерная программа (рис. 3).

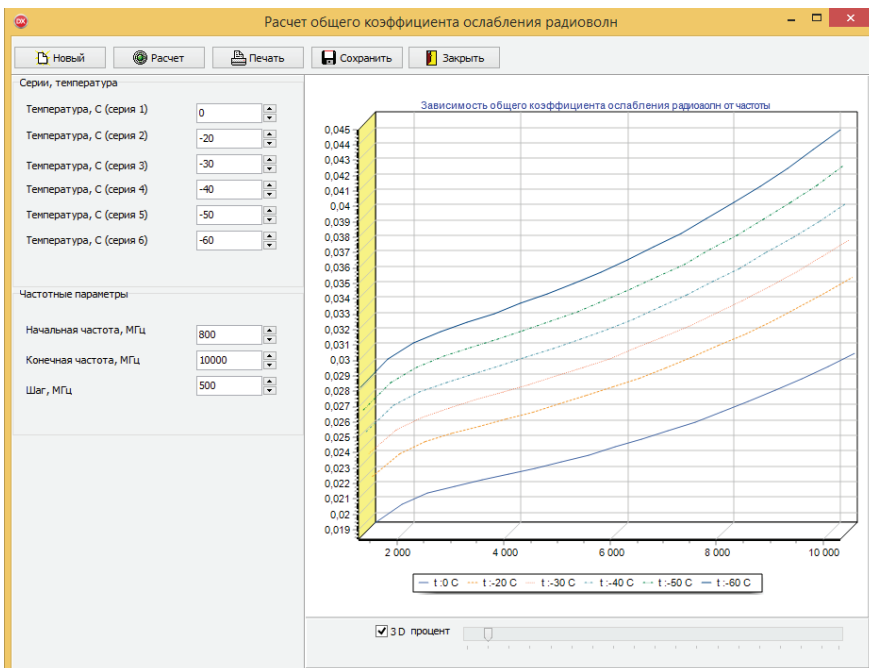


Рис. 3. Форма «Расчет общего коэффициента радиоволн» программы расчета характеристик распространения радиоволн

Расчеты в программе можно производить для любого диапазона частот с определенным шагом, также можно варьировать температурой воздуха, задавая её также с определенным шагом. В качестве формул для расчета можно применять любые выражения и модели, исходя из конкретных целей и задач исследования.

#### Расчет коэффициента ослабления интенсивности радиосигналов

В ряде работ отмечается, что температура воздуха оказывает воздействие на ослабление радиоволн [1, 2]. В частности, в работе [2] для диапазона частот менее 57 ГГц коэффициент ослабления в кислороде получено выражение :

$$\gamma_0 = [1 - (t - 15) \cdot 0,01] \left( 7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right) f^2 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $f$  – частота ГГц,  $t$  – температура воздуха по Цельсию.

Отметим, что вышеуказанные исследования [1, 2] температурной зависимости ослабления радиоволн проведены для условий умеренного климата. Подобные работы, посвященные проблемам распространения радиоволн дециметрового и сантиметрового диапазонов в условиях экстремально низких температур, в настоящее время отсутствуют.

Результаты расчета частотной зависимости коэффициента ослабления радиоволн при помощи данной программы, на основе формулы (3) для диапазона частот 0,8-10 ГГц и при изменении температуры воздуха от 0 °С до -60 °С представлены на рис. 4.

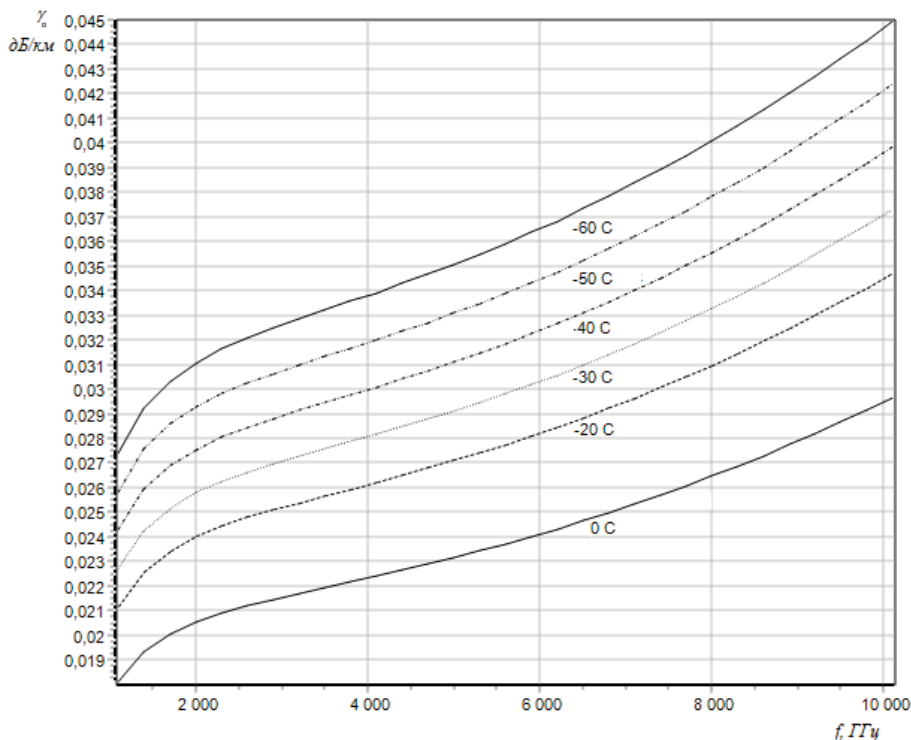


Рис. 4. Частотная зависимость общего коэффициента ослабления радиоволн при температуре воздуха 0 °С, -20 °С, -30 °С, -40 °С, -50 °С, -60 °С

Из рис. 4 видно, что понижение температуры воздуха увеличивает коэффициент ослабления радиоволн. В частности, для частоты 6 ГГц понижение температуры воздуха с 0 °С до –60 °С приводит к росту коэффициента ослабления радиоволн с 0,024 дБ/км до 0,0375 дБ/км. Температурная зависимость коэффициента ослабления еще более усиливается при повышении частоты радиосигнала.

#### **Заключение**

Расчеты температурной зависимости коэффициента ослабления радиосигналов диапазона 0,8-10 ГГц показали, что понижение температуры воздуха с 0 °С до –60 °С приводит к увеличению коэффициента ослабления в среднем в 1,5 раза. При изменении частоты радиосигнала рост коэффициента ослабления интенсивности при понижении атмосферной температуры проявляется еще более выражено. Так, если при температуре –50 °С и при частоте радиосигнала 2 ГГц коэффициент ослабления составляет 0,0205 дБ/км, то соответствующее значение при частоте 10 ГГц равно 0,031 дБ/км.

Отметим, что в представленных расчетах не учтено возможное воздействие ледяного тумана на формирование общего коэффициента ослабления радиоволн. Между тем, в Якутии морозы –40 °С и ниже, как правило, сопровождаются густыми ледяными туманами. В вышеприведенных работах [1-4], главным образом, рассмотрены вопросы воздействия летних гидрометеоров на распространение радиоволн и по этой причине использование их результатов в условиях зимнего ледяного тумана, ввиду специфичности его проявления в регионах с экстремально низкими температурами, представляется проблематичным. Таким образом, для расчета общего коэффициента ослабления радиоволн в условиях зимнего ледяного тумана требуются дополнительные теоретические исследования, результаты которых в дальнейшем найдут применение в разработанной прикладной программе.

#### **Л и т е р а т у р а**

1. Михайлов В. Ф. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах / В. Ф. Михайлов, Т. Н. Нарытник, И. В. Брагин, В. Н. Мошкин. – СПб.: ГУАП, 2003. – 337 с.
2. Пищин О. Н. Воздействие изменения температуры атмосферы на затухание сигналов сотовой связи / О. Н. Пищин, А. А. Волошин, О. Б. Буцкая // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 132-136.
3. Adimula I. A. Effects of rain on microwave and satellite communications in equatorial and tropical regions–I.A.Adimula, O.A. Falaiye, A.A.Willoughby//Nigerian Journal of Physics. – 2005. – №17. – P. 66-71.
4. Пожидаев В. Н. Ослабление и обратное рассеяние миллиметровых радиоволн в тумане, дожде, снегопаде / В. Н. Пожидаев // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» ИРЭ РАН, 29 ноября-3 декабря 2010 г. – 2010. – С. 744-748.
5. Соколов А.В. Ослабление миллиметровых волн в толще атмосферы / А. В. Соколов, Е. В. Сухонин // Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника. – 1980. – Т. 20. – С. 107-205.
6. Ito S. Method for estimating Atmospheric attenuation on Earth-Space path in Fair and Rain Weather / S Ito // NHK Laboratories Note. – 1987. – Serial No 353. – P. 13-20.
7. Сухонин Е.В. Прогнозирование ослабления миллиметровых волн в толще атмосферы / Е. В. Сухонин // Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника. – 1990. – Т. 41. – С. 3-68.

#### **References**

1. Mihajlov V. F. Mikrovolnovye tekhnologii v telekommunikacionnyh sistemah / V. F. Mihajlov, T. N. Narytnik, I. V. Bragin, V. N. Moshkin. – Spb.: GUAP, 2003. – 337 s.
2. Pishchin O. N. Vozdejstvie izmeneniya temperatury atmosfery na zatuhanie signalov sotovoj svyazi / O. N. Pishchin, A. A. Voloshin, O. B. Buckaya // Vestnik AGTU. Ser.: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. – 2011. – № 2. – S. 132-136.

3. Adimula I. A. Effects of rain on microwave and satellite communications in equatorial and tropical regions—/I.A.Adimula, O.A. Falaiye, A.A.Willoughby//Nigerian Journal of Physics. – 2005. – №17. – P. 66-71.

4. Pozhidaev V. N. Oslablenie i obratnoe rasseyanie millimetrovyyh radiovoln v tumane, dozhde, snegopade / V. N. Pozhidaev // IV Vserossiyskaya konferenciya «Radiolokaciya i radiosvyaz'» IRE RAN, 29 noyabrya-3 dekabrya 2010 g. – 2010. – S. 744-748.

5. Sokolov A.V. Oslablenie millimetrovyyh voln v tolshche atmosfery / A. V. Sokolov, E. V. Suhonin // Itogi nauki i tekhniki. Ser. Radiotekhnika. – 1980. – T. 20. – S. 107-205.

6. Ito S. Method for estimating Atmospheric attenuation on Earth-Space path in Fair and Rain Wheather / S Ito // NHK Laboratories Note. – 1987. – Serial No 353. – P. 13-20.

7. Suhonin E.V. Prognozirovanie oslableniya millimetrovyyh voln v tolshche atmosfery / E. V. Suhonin // Itogi nauki i tekhniki. Ser. Radiotekhnika. – 1990. – T. 41. – S. 3-68.

