

## ОЦЕНКА ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЕЙ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭКРАНАМИ И ЛЕСНЫМИ МАССИВАМИ

В. А. Цветков, И. В. Алексанова,  
А. О. Воронько, А. В. Князев

*Приведены способы оценки диаграммы направленности антенной решётки при частичном затенении области распространения металлическим экраном и при частичном затенении области распространения поглощающей средой в виде лесного массива. Показаны расчётные соотношения и примеры практического использования оценки и расчётов по приведённым формулам.*

**Ключевые слова:** антенная решётка, диаграмма направленности, металлический экран, затухание.

### Введение

Наземные радиолокационные станции (РЛС) раннего обнаружения имеют определённые особенности, в том числе высокую мощность излучения и барьерную зону, максимально прижатую к земле. Следовательно, при проектировании и эксплуатации РЛС встаёт вопрос обеспечения санитарно-защитных зон (СЗЗ) [1] вблизи от активной фазированной антенной решётки (АФАР), и, одновременно, предотвращение ослабления сигналов РЛС лесными массивами. В первой части данной статьи предложен способ оценки ослабления сигнала при частичном затенении АФАР полубесконечным экраном, в качестве примера показан пример расчёта оптимальной высоты биоэкрана для линейной решётки метрового диапазона. Во второй части статьи приведена оценка параметров затухания сигнала на трассе распространения радиоволн, при частичном затенении АФАР. В качестве примера приведён расчёт потерь при перекрытии части области распространения лесным массивом.

### Диаграмма направленности антенной решётки при частичном затенении области распространения металлическим экраном

При расчёте затухания сигнала будем считать, что препятствием является полубесконечный металлический экран, который перекрывает часть пространства между антенной решёткой (АР) и точкой наблюдения. Схема взаимного расположения приведена на рис. 1.

При оценке для каждого из излучателей сигнал в точке наблюдения рассчитывается с учётом дифракции Френеля на прямолинейном крае полубесконечного экрана. Таким образом, классическая формула для расчёта диаграммы направленности (ДН) АР [2] выглядит следующим образом:

$$D(\varphi) = \left| \sum_{i=1}^N F(\varphi)_i A(\varphi)_i \dot{A}_{\Phi i} \right|, \quad (1)$$

где  $F(\varphi)$  – множитель антенной решётки;  $A(\varphi)$  – множитель, вносимый ДН излучателя;  $N$  – количество излучателей в решетке;  $\dot{A}_{\Phi}$  – множитель ослабления, учитывающий дифракцию на экране [3]:

$$\dot{A}_{\Phi} = \frac{1}{\sqrt{2}}(C(v) - iS(v)), \quad (2)$$

где  $C(v)$ ,  $S(v)$  – интегралы Френеля от параметра  $v$ , более подробно описанные в [3].

Данная оценка может применяться для расчёта размера биоэкрана для обеспечения норм СанПиН рядом с передающей АФАР.

Проиллюстрируем это на примере расчёта высоты биоэкрана для линейной антенной решётки. Биоэкран должен обеспечивать выполнение требований СанПиН [3] по максимальной напряжённости электрического поля для промежуточной зоны АР величиной 6 В/м.

При расчете взята линейная АР из 40 излучателей с шагом  $0,5\lambda$  (рис. 2),  $\lambda \approx 2$  м ( $\lambda$  – длина волны). На расстоянии  $100\lambda$  от АР расположен биоэкран. Экран и АР стоят на фундаменте высотой  $\lambda$ . Расстояние от земли до наблюдаемой области –  $\lambda$ . Мощность каждого из каналов АР составляет 1 Вт.

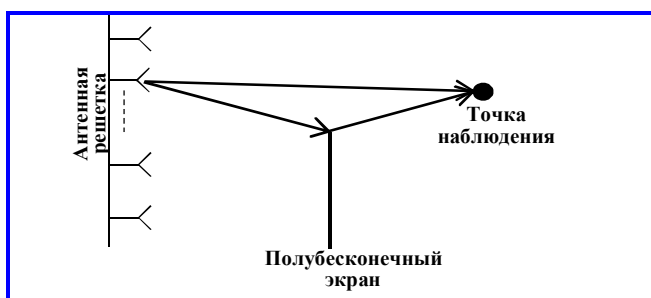


Рис. 1. Схема взаимного расположения антенной решетки, металлического экрана и точки наблюдения

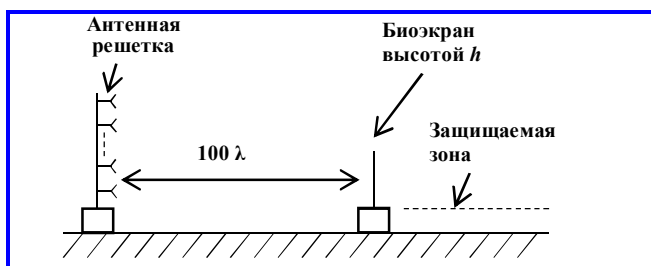


Рис. 2. Схема взаимного расположения антенной решетки и биоэкрана

Защищаемая зона находится на высоте  $\lambda$  над экраном. Расчёт напряжённости поля будет произведен для экранов высотой  $h = 5\lambda$ ,  $10\lambda$  или  $20\lambda$ .

На рис. 3 приведен результат расчёта нормированной ДН АР для случаев с тремя приведёнными высотами экранов и без экрана.

Из рис. 3 видно, что ДН не только смещается по уровню, но и по направлению максимума.

На рис. 4 приведен результат расчёта вносимого ослабления как функция расстояния до точки наблюдения для каждого из трёх экранов. На рис. 5 приведён рассчитанный график напряжённости электрического поля за экраном и без него.

Из рис. 5 следует, что поле за экраном высотой  $10\lambda$  не превышает  $6 \text{ В/м}$  и удовлетворяет требованиям [1]. Следовательно, экран высотой  $10\lambda$  достаточен для обеспечения требований СанПиН и безопасного нахождения рядом с АР.

### Диаграмма направленности антенной решётки при частичном перекрытии области распространения поглощающей средой

Теперь рассмотрим наличие неоднородной среды в области распространения радиоволн от РЛС. Тогда, исходя из классической формулы для расчёта ДН АР [1], ДН имеет вид:

$$D(\varphi) = \left| \sum_{i=1}^N \dot{F}(\varphi)_i A(\varphi)_i \dot{Q}_i \right|, \quad (3)$$

где  $\dot{F}(\varphi)$  – множитель антенной решётки;  $A(\varphi)$  – множитель, вносимый ДН излучателя;  $\dot{Q}$  – множитель ослабления, учитывающий потери в среде и зависящий от выбранной модели среды.

Примером применения данного подхода может служить расчёт потерь, вносимых лесополосой в сигнал от РЛС при работе по барьерной зоне. В этом режиме луч АФАР приподнят над горизонтом на  $1 \div 2$  градуса. Рассмотрим это на примере РЛС  $L$ -диапазона с длиной волны  $\lambda \approx 0,25 \text{ м}$ . Схема расположения АР, леса и точки наблюдения приведены на рис. 6. Угол фазирования луча примем равным  $2^\circ$ .

Для сигнала от каждого излучателя, исходя из взаимного расположения леса, излучателя и точки наблюдения, рассчитывается протяжённость лесного массива на пути распространения радиоволны. Исходя из этих протяжённостей по модели COST-235 [4] рассчитываются вносимые лесополосой потери  $Q$ . Зависимость потерь от протяжённости лесного массива приведена в графике на рис. 7.

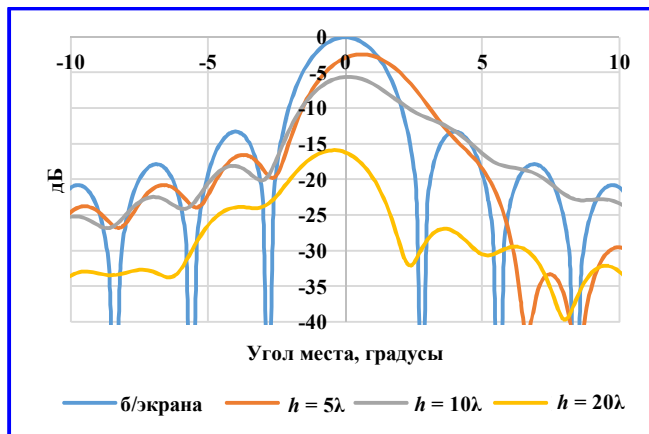


Рис. 3. Диаграмма направленности антенной решетки с биоэкраном и без него

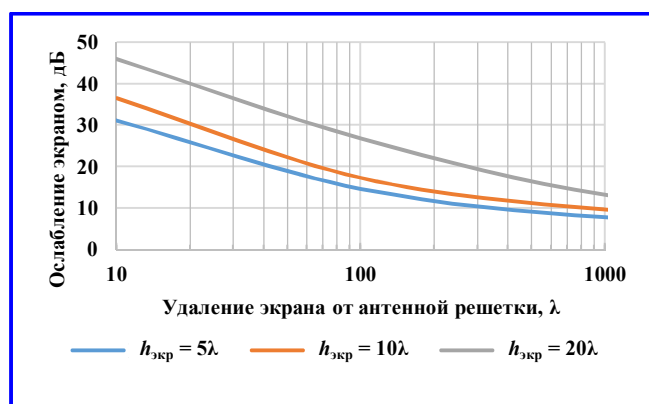


Рис. 4. Ослабление, вносимое биоэкраном

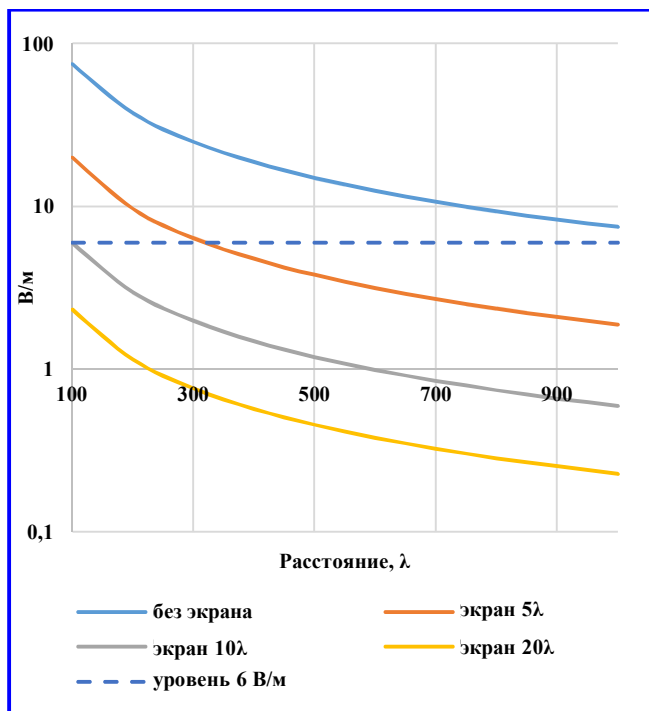


Рис. 5. Напряженность электрического поля в зависимости от расстояния до антенной решетки

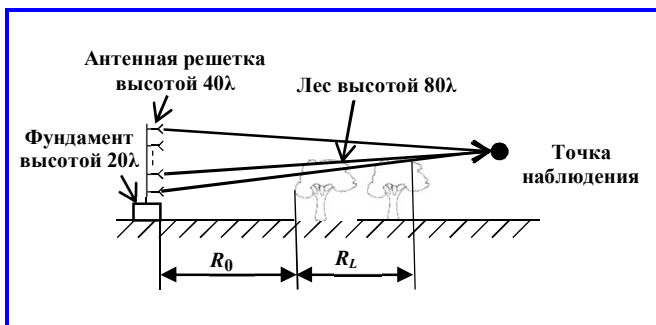


Рис. 6. Схема расположения антенной решетки и леса:  $R_0$  – расстояние между антенной решеткой и лесополосой;  $R_L$  – протяжённость лесополосы на трассе распространения луча

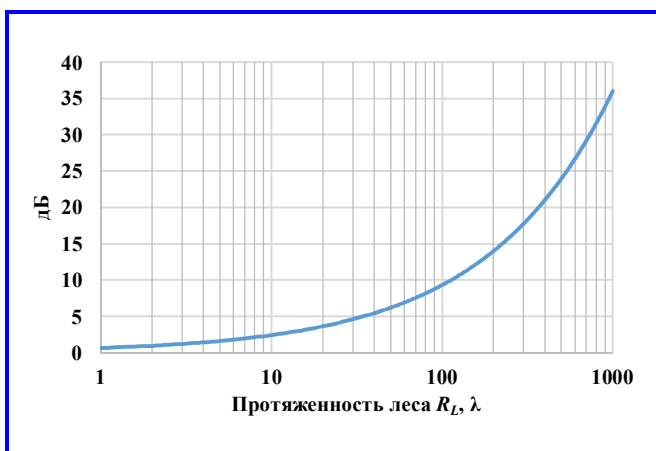


Рис. 7. Затухание, вносимое лесным массивом при расчёте по модели COST-235



Рис. 8. Ослабления сигнала от радиолокационной станции в зависимости от расстояния  $R_0$

Для упрощения модели при оценке не учитывается переотражение от земли, ширина области рас-

пространения радиоволн и замедление волн в лесополосе.

Исходя из этого, можно рассчитать ослабление сигнала от РЛС как отношение уровней диаграмм направленности [2] в заданном направлении при наличии и отсутствии потерь  $Q$ . На рис. 8 приведено рассчитанное таким образом ослабление сигнала от РЛС в зависимости от расстояния  $R_0$ , с учётом потерь в лесополосе по модели COST-235.

Так как для РЛС раннего обнаружения потери в десятки доли дБ уже сказываются на потенциале, то для  $L$  диапазона наличие лесополосы в области распространения радиоволн является недопустимым. В метровом диапазоне данные потери могут быть на порядок меньше, но их следует учитывать.

### Заключение

Предложен способ оценки ослабления излучения АР при наличии биоэкрана на пути распространения радиоволн, приведён пример применения оценки для подбора оптимальной высоты биоэкрана. Предложен способ оценки ДН антенны при частичном перекрытии области распространения поглощающей средой. В качестве примера использования проведена оценка ослабления сигнала от РЛС при наличии лесных массивов перед раскрывом АР.

### Литература

1. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов : Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы : СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 22 с.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Радиотехника» / Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов [и др.] ; ред. Д. И. Воскресенский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Радиотехника, 2012. – 744 с.
3. Долуханов М. П. Распространение радиоволн : [учебник для вузов] / М. П. Долуханов. – 4-е изд. – Москва : Связь, 1972. – 366 с.
4. Оценка эмпирических моделей распространения радиоволн в лесных массивах сантиметрового и миллиметрового диапазонов / А. В. Тихомиров, В. Ю. Михайлов, Е. В. Омелянчук [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9 (60). – С. 22.

Поступила в редакцию 20.10.2023

Василий Алексеевич Цветков, ведущий инженер, т. 8 (495) 612-99-99, e-mail: supap@yandex.ru, (АО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца» (АО «РТИ»)).

**Ирина Владимировна Алексанова**, ведущий инженер, т. 8 (495) 735-42-44, e-mail: irina-razina@yandex.ru  
(Группа компаний «АБС Электро»).

**Андрей Олегович Воронко**, инженер 2 категории, e-mail: avoronko@rti-mints.ru.

**Александр Васильевич Князев**, инженер 2 категории, e-mail: alknyazev@rti-mints.ru.

Т. 8 (495) 612-99-99.

(АО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца» (АО «РТИ»)).

## EVALUATION OF WEAKENING OF ANTENNA ARRAY FIELDS BY THE METALLIC SCREENS AND FOREST EXPANSES

**V. A. Tsvetkov, I. V. Aleksanova,  
A. O. Voronko, A. V. Knyazev**

**E**valuation methods of antenna array pattern at partial shading of propagation area by metallic screen and partial shading of propagation area by the absorbing environment in a form of forest expanse are presented. Calculated correlations and examples of practical application of evaluation and calculations according to the presented formulas are demonstrated.

**Key words:** Antenna array, pattern, metallic screen, attenuation.

### References

1. Hygienic requirements for arrangement and operation of transmitting radio communication equipment: Health and hygiene rules and standards: SanPiN 2.1.8/2.2.4.1383-03. – Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2003. – 22 p.
2. Microwave devices and antennas. Designing of phased array antennas: textbook for university students studying in the discipline of ‘Radio engineering’ / D. I. Voskresenskii, V. I. Stepanenko, V. S. Fillipov [et. Al]; edited by D. I. Voskresenskii. – 4th edition, corrected and updated. – Moscow: Radiotekhnika, 2012. – 744 p.
3. Dolukhanov M. P. Radio wave propagation: [textbook for university] / M. P. Dolukhanov. – 4th edition. – Moscow: Svyaz, 1972. – 366 p.
4. Evaluation of empirical model of centimeter and millimeter range radio wave propagation in the forest expanses / A. V. Tikhomirov, V. Yu Mikhaylov, E. V. Omelyanchuk [et. Al] // Engineering Journal of Don. – 2019. – № 9 (60). – P. 22.

**Vasilij Alekseevich Tsvetkov**, leading engineer, т. 8 (495) 612-99-99, e-mail: supap@yandex.ru,  
(JSC «Radio Engineering Institute named after Academician A. L. Mints» (JSC «RTI»)).

**Irina Vladimirovna Aleksanova**, leading engineer, т. 8 (495) 735-42-44, e-mail: irina-razina@yandex.ru,  
(Group of companies «ABS Electro»).

**Andrey Olegovich Voronko**, 2nd category engineer, e-mail: avoronko@rti-mints.ru.

**Aleksandr Vasilievich Kniazev**, 2nd category engineer, e-mail: alknyazev@rti-mints.ru.

Т. 8 (495) 612-99-99.

(JSC «Radio Engineering Institute named after Academician A. L. Mints» (JSC «RTI»)).