

УДК 621.03.9

¹Азаренко Е. В., ¹Гончаренко Ю. Ю., ¹Коноваленко Н. В., ²Лазаренко С. В.¹Институт геохимии окружающей среды НАН Украины²Государственный университет телекоммуникаций

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

Проанализированы основные положения теории распространения электромагнитных волн и отражающих свойств радиолокационных целей. Рассмотрено неравенство дальности действия радиолокационной станции. Показан один из вариантов графического решения неравенства дальности действия радиолокационной станции. На основе полученного решения предлагается оригинальная методика расчета энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей. Методика может быть реализована графическим и аналитическим способами.

Ключевые слова: радиолокационная станция, энергетическая дальность действия, радиолокационная цель, электромагнитная волна, методика

1. Введение. Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера на охраняемых потенциально-опасных объектах – актуальная государственная задача, решением которой занимаются административные, государственные и научные структуры, учёные и практики [1, 2]. На ядерных и других охраняемых объектах частично эти задачи решаются системами физической защиты объекта путём контроля прилегающих территорий с использованием оптоэлектронных, акустических, контактных и радиолокационных средств [3, 4]. Преимущество последних состоит в относительно большой дальности действия независимо от времени суток (ночью и днём), прозрачности атмосферы (при тумане, естественном и искусственном задымлении), в возможности селектирования подвижных целей и непрерывного сканирования наземного, надводного и воздушного пространства одним радиолокационным средством. Дальность радиолокационного обнаружения является важнейшей характеристикой радиолокационной станции, на основании которой проводятся тактические и оперативные расчёты по прикрытию охраняемых объектов [5, 6].

В классических учебниках по радиолокации [7, 8] рассматриваются уравнения активной и пассивной локации, приводятся фундаментальные исследования излучения и приема электромагнитных волн, их отражения от различных целей, предлагаются технические методы селекции по угловым координатам и дальности, выделения полезных сигналов на фоне помех и т. д. В практических рекомендациях рассматриваются, как правило, особенности распространения радиоволн и другие специфические вопросы, предусмотренные специальными программами [9, 10]. К сожалению, четко сформулированная методика с пошаговым описанием действий для получения расчетного значения дальности обнаружения радиолокационных целей пока отсутствует.

Целью данной работы является разработка оригинальной методики расчёта энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей с последующей алгоритмизацией и создание на её основе программно-моделирующего комплекса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать основные закономерности распространения электромагнитных волн и расчета энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей. Во-вторых, рассмотреть графическую интерпретацию расчетов. В-третьих, предложить оригинальную методику расчета энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей.

2. Основные закономерности распространения электромагнитных волн и расчёта энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей. Энергетическая дальность обнаружения обуславливается главными техническими параметрами радиолокационной станции (РЛС) и закономерностями распространения электромагнитных волн.

В основе оптимального обнаружения полезного электромагнитного сигнала лежит превышение его уровня или интенсивности принятого полезного сигнала $I_{\text{сигн}}$ над уровнем помех $I_{\text{пом}}$, действующих на вход приёмного устройства, то есть должно выполняться условие:

$$I_{\text{сигн}} \geq \delta \cdot I_{\text{пом}}, \quad (1)$$

где δ – коэффициент распознавания, безразмерная величина, определяемая в результате обработки сигнала в приёмном устройстве РЛС.

Правая часть уравнения определяется чувствительностью приёмного устройства – $P_{\text{пр}}$. Это значение уменьшается за счёт направленного приёма антенной системы РЛС на величину, равную коэффициенту усиления антенны – $K_{\text{ус}}$. В результате правая часть уравнения (1) примет вид:

$$\delta \cdot \frac{P_{\text{пр}}}{K_{\text{ус}}}. \quad (2)$$

Левая часть уравнения (1) определяется мощностью P_u электромагнитного импульса, излучённого в пространство. Электромагнитная волна распространяется по сферическому закону. Её фронт расширяется, и интенсивность волны уменьшается пропорционально квадрату текущего расстояния, то есть пропорционально $4\pi D^2$.

Поскольку антенна РЛС обладает направленностью, характеризуемой коэффициентом усиления антенны – $K_{\text{ус}}$, то текущее значение интенсивности электромагнитной волны будет увеличено на величину, равную коэффициенту усиления антенны.

Распространяясь в пространстве, интенсивность электромагнитной волны уменьшается не только за счёт расширения фронта волны, но и за счёт объёмного затухания, величина которого определяется коэффициентом объёмного затухания β . Его значение зависит от частоты электромагнитных колебаний, распространяющихся в пространстве, и находится эмпирическим путём. Следовательно, текущее значение интенсивности электромагнитной волны будет иметь вид:

$$\frac{P_u \cdot K_{\text{ус}}}{4\pi D^2} \cdot 10^{-0,1\beta \cdot D_{\text{км}}}. \quad (3)$$

Облучаемая электромагнитной волной цель отражает только часть энергии, падающей на неё, которая определяется половиной площади отражающей поверхности R_3 .

Распространяющаяся в обратном направлении отражённая электромагнитная волна будет затухать за счёт расширения фронта волны и объёмного затухания.

С учётом выше изложенного, интенсивность отражённой от цели электромагнитной волны будет равна:

$$\frac{P_u \cdot K_{\text{ус}}}{4\pi D^2} \cdot 10^{-0,1\beta \cdot D_{\text{км}}} \cdot R_3^2 \cdot \frac{10^{-0,1\beta \cdot D_{\text{км}}}}{4\pi D^2}. \quad (4)$$

С учетом (2) и (4) уравнение (1) примет следующий вид:

$$\frac{P_u \cdot K_{\text{ус}} \cdot R_3^2}{(4\pi D^2)^2} \cdot 10^{-0,2\beta \cdot D_{\text{км}}} \geq \delta \cdot \frac{P_{\text{пр}}}{K_{\text{ус}}}. \quad (5)$$

Прологарифмировав неравенство (5), умножив обе его части на 10 и выполнив несложные преобразования, получим:

$$20 \cdot \lg D + \beta D_{\text{км}} + C \leq 0,5 \cdot [10 \cdot \lg \delta + 10 \cdot \lg P_{\text{пр}} - 20 \cdot \lg K_{\text{ус}} - 10 \cdot \lg P_u - 10 \cdot \lg R_3], \quad (6)$$

где $C = 10 \cdot \lg(4\pi)$ или 10,98 дБ.

Выражение (6) принято называть нестрогим неравенством дальности действия РЛС. В его правой части шесть слагаемых, в децибельной форме выражающих значения главных технических параметров РЛС, а именно: коэффициента распознавания δ , чувствительности приёмного устройства $P_{\text{пр}}$, коэффициента усиления антенны РЛС – $K_{\text{ус}}$, мощности излучения P_u и главного параметра облучаемой радиолокационной цели – площади отражающей

поверхности $R_э$. Эту часть неравенства принято также называть энергетическим потенциалом РЛС по определённой радиолокационной цели, которая обозначается $P_{эРЛС}$.

Левую часть выражения (6) называют закономерностью спада интенсивности распространяющейся электромагнитной волны и обозначают $\Psi(D, f)$. Теперь выражение (6) примет вид:

$$\Psi(D, f) \leq \frac{1}{2} P_{эРЛС}. \quad (7)$$

Закономерность спада интенсивности распространяющейся электромагнитной волны – это математическая зависимость, характеризующая закономерность затухания любой распространяющейся волны за счёт расширения сферического фронта и объёмного затухания. Последнее зависит от частоты излучения, которая является фиксированной величиной для определённого класса РЛС, в том числе и для рассматриваемого образца.

Если допустить, что основные параметры РЛС остаются неизменными, то есть режим работы станции при решении задачи освещения обстановки на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту не меняется с течением времени, то энергетический потенциал можно рассматривать как функцию, зависящую от половины площади отражающей поверхности, тогда из (7) получим:

$$\Psi(D, f_{РЛС}) \leq \frac{1}{2} P_{эРЛС}(R_э). \quad (8)$$

3. Графическая интерпретация расчётов. Графическая интерпретация нестроого неравенства дальности действия РЛС представлена на рис. 1.

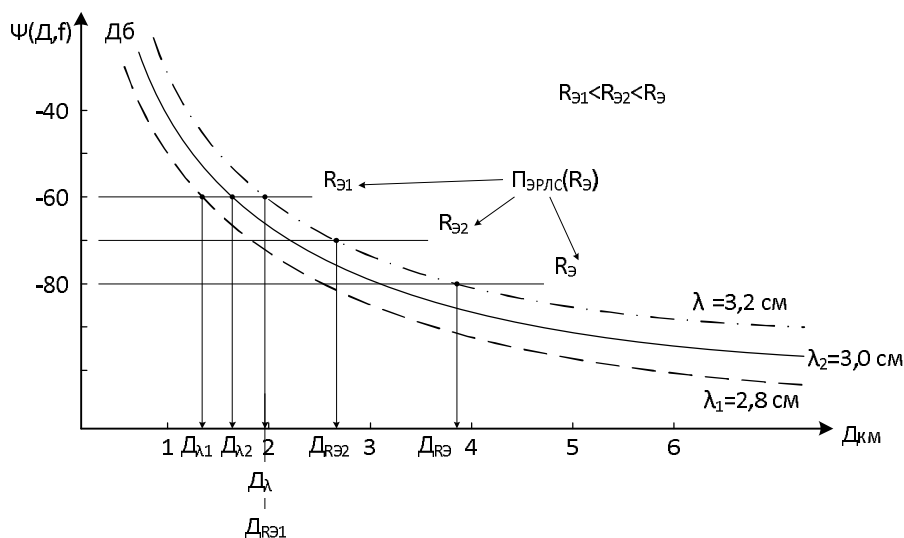


Рис. 1. Графическая интерпретация неравенства дальности действия

По оси абсцисс располагаются текущие значения дальности действия РЛС (км). По оси ординат – уровень спада интенсивности электромагнитной волны в децибелах. На графике изображены три варианта закономерностей спада интенсивности для длины волны РЛС, равной 2,8; 3,0 и 3,2 см. Соответственно, для фиксированного значения энергетического потенциала РЛС, определяемого половиной площади отражающей поверхности $R_э$, получим три значения дальности действия $D_{λ1}$, $D_{λ2}$ и $D_{λ3}$.

Из графика видно, чем больше длина волны излучения (ниже несущая частота РЛС), тем на больших дистанциях будет обнаруживаться одна и та же радиолокационная цель.

Для одной и той же длины волны, как показано на графике для $λ_3$, чем больше площадь отражающей поверхности, тем дальше будут обнаруживаться цели. Таким образом, наибольшая энергетическая дальность обнаружения радиолокационной цели определяется соответствием (равенством) значения энергетического потенциала РЛС значению

закономерности спада интенсивности распространяющейся электромагнитной волны, рассчитанного для этой дистанции, что можно выразить следующей функциональной зависимостью:

$$D_{\text{э}} = f \left[\Psi \left(D, f_{\text{плс}} \right); \Pi_{\text{эплс}} \left(R_{\text{э}} \right) \right]. \quad (9)$$

4. Оригинальная методика расчёта энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей. Под методикой, в самом широком толковании этого термина, принято понимать совокупность приёмов практической деятельности, приводящей к заранее определённому результату [11]. В нашем случае рассматривается практическая деятельность оператора РЛС или оператора пульта физической защиты объекта по регламентации технических действий для расчёта энергетической дальности РЛС.

Оригинальная методика расчета энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей включает набор следующих действий.

1. Определение численных значений главных технических параметров РЛС и перевод их в децибельную форму.

Коэффициент распознавания δ – безразмерная величина, принимает значения от 0,1 до 10. Следовательно, в децибелах этот интервал будет составлять от –10 до 10.

Чувствительность приёмного устройства $P_{\text{пр}}$ измеряется в ваттах и колеблется от 10^{-12} до 10^{-14} . В децибелах эти значения будут равны от –120 до –140 дБ соответственно.

Коэффициент усиления антенны РЛС – $K_{\text{ус}}$, безразмерная величина, как правило, равен 600-1500, и в децибелах будет составлять 27-32 дБ.

Величина мощности излучения $P_{\text{и}}$ может быть от 2 киловатт до мегаватта, в децибелах эти значения составят от 33 до 60 дБ соответственно.

Рабочая длина волны РЛС, как правило, измеряется в сантиметрах. Ее значение необходимо для следующего этапа.

2. Определение коэффициента объемного затухания β . Он измеряется в дБ/км и выбирается из синоптических таблиц в зависимости от длины электромагнитной волны и влажности атмосферного воздуха.

3. Расчет закономерности спада интенсивности электромагнитного поля производится по текущему значению дистанции. Результаты расчетов фиксируются в табличной форме и отображаются в виде графиков, где по оси абсцисс откладывается расстояние в метрах или км, а по оси ординат значение интенсивности электромагнитного поля в децибелах.

4. Определяется главный параметр облучаемой радиолокационной цели – площадь её отражающей поверхности $R_{\text{э}}$, которая измеряется в м^2 . Она может изменяться в пределах от $0,05 \text{ м}^2$ до 500 м^2 и более, что в децибелах составит от –16 дБ до 24 дБ соответственно. В расчет берется половина значения.

5. По децибельным параметрам РЛС и площади отражающей поверхности находится значение энергетического потенциала РЛС по конкретной цели путем суммирования соответствующих значений со своими знаками.

6. Определение энергетической дальности обнаружения радиолокационной цели проводится путем нахождения соответствия значения закономерности спада интенсивности электромагнитного поля величине, равной половине значения энергетического потенциала РЛС по конкретной цели. Определение соответствия может выполняться графическим и аналитическим способами.

Предложенный порядок действий достаточно просто алгоритмизируется, и на его базе возможно создание программных продуктов с различными интерфейсами входных и выходных данных.

5. Выводы. Разработанная оригинальная методика расчёта энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей включает шесть последовательных этапов действий. Это определение численных значений главных параметров радиолокационных станций и целей, расчет закономерностей спада интенсивности электромагнитного поля и

энергетического потенциала станций по конкретным радиолокационным целям, нахождение соответствия (равенства) половины величины энергетического потенциала значению закономерности спада интенсивности электромагнитного поля и определение соответствующего этому равенству значения текущего расстояния, которое и является энергетической дальностью обнаружения.

Список используемой литературы

1. Гончаренко Ю. Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю. Ю. Гончаренко, Е. В. Азаренко, Ю. В. Браславский и др. // Сборник научных трудов СКУЯЭиП. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2011. – Вып. 2 (38). – С. 239-245.
2. Гончаренко Ю. Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю. Ю. Гончаренко, Е. Е. Смычков, В. В. Рыбко // Збірник наукових праць СКУЯЕтаП. – Севастополь: СКУЯЕтаП, 2012. – Вып. 1 (41). – С.-211.
3. Гончаренко Ю. Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю. Ю. Гончаренко // Экономика и управление. – 2012. – №5. – С. 97-101.
4. Радиолокационные устройства. Теория и принципы построения. – Москва: Советское радио, 1970. – 680 с.
5. Широков Ю. Ф. Основы теории радиолокационных систем / Ю. Ф. Широков. – Самара: ГАЭУ, 2012. – 128 с.
6. Бакулев П. А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П. А. Бакулев, А. А. Сосновский ; учеб. пособие для вузов. – Москва : Радио и связь, 1994. – 296 с.
7. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации ; учеб. пособие для вузов / Ю. Г. Сосулин / – Москва : Радио и связь, 1992. – 304 с.
8. Васин В. А. Информационные технологии в радиотехнических системах ; учеб. пособие. – 2-е изд. / В. А. Васин, И. Б. Власов и др.; под ред. И.Б. Федорова. – Москва : Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 768 с.
9. Радиовидение. Радиолокационные станции зондирования Земли ; учебное пособие для вузов ; под. ред. Г.С. Кондратенкова. – Москва : Радиотехника, 2005. – 368 с.
10. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем / Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
11. Новая философская энциклопедия ; под ред. В. С. Степина. Том 4. – Москва: Мысль, 2001. – 257 с.

Автори статті

Азаренко Олена Василівна – доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». Тел.: +380 (67) 692 88 02.

Гончаренко Юлія Юріївна – доктор технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

Коноваленко Микола Володимирович – аспірант, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України».

Лазаренко Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри систем технічного захисту інформаційних. Державного університету телекомунікацій. Тел.: +380 (67) 244 78 67.

Authors of the article

Azarenko Olena Vasylivna – doctor of sciences (physics and mathematics), professor, senior research employee. State Enterprise “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”, Tel.: +380 (67) 692 88 02.

Goncharenko Yulia Yuriivna – doctor of sciences (technics), assistant professor, senior research employee. State Enterprise “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”.

Konovalenko Mykola Volodymyrovych – PhD student. State Enterprise “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”.

Lazarenko Serhii Volodymyrovych – candidate of sciences (technics), associate professor, head of technical information protection department. State University of Telecommunications. Tel.: +380 (67) 244 78 67.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор В. Л. Бурячок
Державний університет телекомунікацій

Дата надходження
в редакцію: 05.10.2016 р.