

## **ФОРМУЛИРОВКА ЧАСТНОЙ ЗАДАЧИ ЗОНДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ ВОКРУГ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА**

В работе сформулирована частная задача зондирования пространства электромагнитными волнами вокруг охраняемых объектов в интересах своевременного радиолокационного обнаружения опасных целей. Дана характеристика потенциально-опасных целей, с точки зрения предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера актов на объектах критической инфраструктуры, к которым относятся атомные электростанции, металлургические заводы, химические и нефтехимические комбинаты. Показано, что этими целями являются люди, вооруженные и без оружия, оснащенные специальными средствами и без них. Они характеризуются площадью эффективной отражающей поверхности и определенными классификационными параметрами. Рассмотрены свойства электромагнитных волн и информативность отраженных радиолокационных сигналов, которые позволяют восстанавливать образ облученного объекта аналитически путем решения обратной задачи. На основании этого сформулирована частная задача восстановления образа облученного объекта. Она состоит в определении функции поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, которые зависят от размеров объекта и длины волн излучения.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, террористический акт, объект критической инфраструктуры, электромагнитные волны, облучаемый объект.

### **Введение**

Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера сегодня является актуальной государственной задачей. Если несколько лет назад этот вопрос вызывал дискуссии в научных и административных кругах, то теперь после аннексии Крыма и военных действий на востоке страны ни у кого нет сомнений, что для террора ничего невозможного не существует [1-3].

Для предотвращения террористических актов на объектах критической инфраструктуры, к которым относятся атомные электростанции, металлургические заводы, химические и нефтехимические комбинаты созданы специальные охранные структуры – службы физической защиты [4,5]. Они оснащены средствами, предназначенными не только для контроля периметра, но и для наблюдения за прилегающими к охранному объекту территориями [6-8]. Одним из видов средств наблюдения являются радиолокационные станции, которые способны обнаруживать злоумышленников в любое время суток, днем и ночью, в условиях ограниченной видимости (туман, дымка и т. п.), а также обеспечивать обнаружение опасных целей, которые при визуальном сканировании пространства не всегда удастся своевременно обнаружить, например, беспилотные летающие аппараты [9-12]. Недостатком радиолокационного наблюдения является достаточно продолжительная идентификация опасных целей.

### **Постановка цели и задач научного исследования**

Целью данной работы является формулирование (постановка) частной задачи зондирования пространства электромагнитными волнами вокруг охраняемых объектов в интересах своевременного радиолокационного обнаружения опасных целей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Во-первых, дать характеристику потенциально-опасных целей с точки зрения предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера. Во-вторых, рассмотреть свойства электромагнитных волн и информативность отраженных радиолокационных сигналов. В-третьих, сформулировать поставленную задачу в математической постановке и описать ее начальные и граничные условия.

### **Характеристика опасных целей**

При решении задачи предупреждения чрезвычайных ситуаций в контролируемых зонах на подходах к потенциально-опасным объектам интерес, прежде всего, представляют

биологические радиолокационные цели. К ним можно отнести злоумышленников – людей с недобрыми намерениями, элементы их снаряжения и вооружения.

Стоящий в полный рост в зоне действия радиолокационной станции (РЛС) обычный среднестатистический мужчина среднего телосложения, одетый в обычную одежду по сезону, имеет некоторую эффективную отражающую поверхность. Если на него надевать последовательно металлическую каску, специальную обувь и снаряжение в виде бронезилетов, пуленепробиваемых накладок и пластин, то его эффективная отражающая поверхность будет существенно возрастать по мере экипировки. Добавление металлического стрелкового вооружения в виде автомата, гранатомета, пистолета и боекомплекта в виде запасных автоматных рожков, гранат и пистолетных обойм, а также ножей, оптических средств и средств ночного видения, средств радиосвязи и навигации приводит к еще большему росту эффективной отражающей поверхности цели. Иначе говоря, электромагнитный сигнал, отражающийся от среднестатистического голого человека, стоящего в полный рост, за счет одетого на него специального обмундирования, снаряжения и вооружения может возрастать в десятки раз.

Однако боец в полном боевом снаряжении и с оружием, стоящий по пояс в овраге, будет иметь эффективную отражающую поверхность как минимум вдвое меньшую, чем стоящий в полный рост на открытой местности. Если он примет горизонтальное положение, то есть ляжет на землю, то отражающая поверхность станет еще меньше. Это значит, что биологическая цель (человек) может иметь различную эффективную отражающую поверхность в зависимости от одетого на него снаряжения и вооружения, а также от его расположения относительно оси (направления) излучения электромагнитного сигнала.

Аналогичную зависимость можно наблюдать и с другими биологическими объектами. Животное в обычном своем состоянии также имеет определенную отражающую поверхность, которая существенно, до полутора раз, возрастает, если на него, например, на голову собаки, закрепить видеокамеру, а вместо ошейника закрепить радиопередающее устройство, транслирующее видеoinформацию злоумышленникам в реальном масштабе времени. Если на ту же собаку дополнительно надеть специальный жилет, оснащенный несколькими килограммами взрывчатки, отражающийся от нее электромагнитный сигнал будет значительно больше, чем от обычной (неоснащенной) собаки. Закрепление автономных микровидеокамер к лапкам голубей увеличивает их эффективную отражающую поверхность в полете в полтора-три раза.

К биологическим целям можно отнести одиночно стоящие деревья и кустарники, которые отражают электромагнитные волны, излучаемые радиолокационными станциями, обнаруживаются на определенном расстоянии и, соответственно, имеют присущую им эффективную отражающую поверхность. Ее величина зависит от времени года (например, зимой на деревьях и кустарниках нет листьев), ветра (ветки неподвижны или колеблются с переделенной амплитудой), осадков (ветки и стволы сухие, влажные или покрыты снегом). Человек с вооружением, стоящий рядом со стволом дерева или сидящий под кустарником, вызовет увеличение суммарной эффективной отражающей поверхности, что приведет к увеличению мощности отражаемого электромагнитного сигнала.

Излучаемые радиолокационными станциями электромагнитные сигналы будут отражаться и от таких распределенных целей, как земная поверхность и водная гладь. В зависимости от состояния подстилающей поверхности степень этого отражения будет различной. Распаханное поле или газон с подстриженной травой будут заметно контрастировать с асфальтовым, бетонным и любым другим покрытием, при этом полученные электромагнитные отражения создают специфический (местный) электромагнитный фон. Для него характерна своя пространственно-временная изменчивость. Такой фон может служить средством естественной маскировки для злоумышленников. Вооруженный человек в специальном маскировочном обмундировании, лежащий на траве и прикрывающийся ветками, будет наблюдаться РЛС как мерцающее пятно, классифицировать которое в отличие от похожих пятен на экране РЛС как маскирующегося злоумышленника

может позволить траектория его перемещения, периодическое появление и исчезновение, и другие классификационные признаки.

Таким образом, основными целями радиолокационного наблюдения при решении задач предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера на охраняемых объектах являются люди, вооруженные и без оружия, оснащенные специальными средствами и без них, которые характеризуются площадью эффективной отражающей поверхности и определенными классификационными параметрами.

### Свойства электромагнитных волн и информативность отраженных сигналов

В основе всех систем извлечения информации о координатах и других параметрах радиолокационных объектов лежат основные свойства электромагнитных волн.

Электромагнитная, как и любая другая волна, излученная точечным источником, распространяется по сферическому закону. Для описания распространения акустических, световых, электромагнитных и любых других волн в физике используют лучевую теорию. Под лучом в ней понимают линию, нормальную (перпендикулярную) к волновой поверхности, а под направлением распространения волны – направление лучей.

Если среда, в которой распространяются лучи, однородная и анизотропная, то лучи будут прямыми, то есть прямолинейность распространения в свободном пространстве – это первое свойство электромагнитных волн. Кроме этого, электромагнитные волны распространяются с одной и той же скоростью, равной 300 000 км/с.

В реальном пространстве вследствие неоднородности и анизотропности среды рефракция электромагнитных лучей вызывает незначительные изменения их направления в вертикальной плоскости.

Рассматривая сферический фронт распространяющейся электромагнитной волны, можно построить неограниченное число лучей. Когда локальный участок фронта сферической волны вырождается, и его конфигурация приближается к плоской волне, лучи становятся параллельными прямыми.

Облучая цель (биологический объект), электромагнитный луч частично поглощается.

Пусть  $f(x)$  – коэффициент поглощения электромагнитных лучей биотканями в некоторой точке  $x$  опасной радиолокационной цели, а уменьшение интенсивности электромагнитного излучения  $\Delta I$ . Тогда относительное уменьшение интенсивности электромагнитного излучения на бесконечно малом отрезке  $\Delta x$  в точке  $x$  составит:

$$\frac{\Delta I}{I} = f(x)\Delta x. \quad (1)$$

Облучение плоской электромагнитной волной биологического объекта можно представить как пронизывание его множеством лучей, как показано на рис. 1. На объект падает  $L$  лучей. Обозначим через  $I_0$  начальную интенсивность одиночного луча, а  $I_1$  – его интенсивность от отраженного тела. С учетом выражения (1) получим:

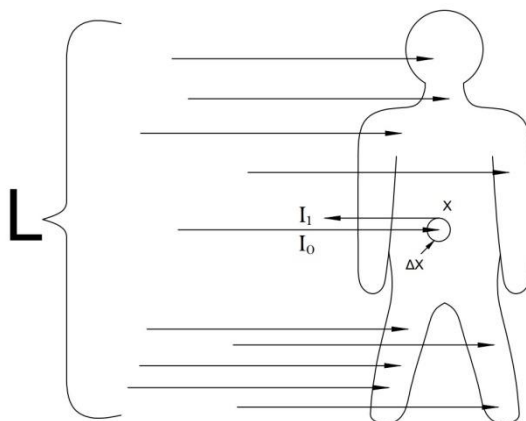


Рис. 1. Схема радиолокационного облучения объекта

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp \left\{ - \int_L f(x) \Delta x \right\}. \quad (2)$$

В результате облучения потоком параллельных электромагнитных лучей получаем в качестве отраженного сигнала линейные интегралы функции  $f$ , которая описывает поглощение электромагнитных волн каждой точкой  $x$  поверхности биологического объекта. По совокупности этих интегралов можно восстановить функции  $f$  и, соответственно, получить восстановленный образ биологического объекта.

Известно, что отображение функции, заданной в  $n$ -мерном пространстве  $\mathbf{R}^n$ , в множестве ее линейных интегралов является преобразованием  $\mathbf{R}$ . Для случая двухмерного пространства (плоскости  $\mathbf{R}^2$ ) преобразование  $\mathbf{R}^2$  называется преобразованием Радона.

Рассмотрим объемлющее пространство, которое может описываться с помощью гиперплоскостей – подпространств, имеющих размерность на единицу меньше, чем объемлющее пространство.

Преобразование  $\mathbf{R}$  ( $n$ -мерное) отображает функцию, определенную в  $\mathbf{R}^n$ , во множество ее интегралов по гиперплоскостям в  $\mathbf{R}^n$ . Иначе говоря, если вектор  $\theta$  принадлежит единичной сфере в  $\mathbf{R}^n$  ( $\theta \in \mathbf{S}^{n-1}$ ) и  $s$  – расстояние от начала координат ( $s \in \mathbf{R}^1$ ), то данное преобразование можно описать следующим выражением:

$$\mathbf{R}f(\theta, s) = \int_{x \cdot \theta = s} f(x) dx = \int_{\theta^\perp} f(s\theta + y) dy. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой интеграл функции  $f$ , принадлежащей пространству Шварца, по гиперплоскости, перпендикулярной вектору  $\theta$  и располагаемой на расстоянии  $s$  (с учетом знака) от начала координат.

Пространство Шварца – это пространство быстро убывающих функций, то есть сама функция и все ее производные с ростом аргумента стремятся к нулю быстрее, чем аргумент стремится к бесконечности.

Таким образом, главным свойством электромагнитных волн является прямолинейность их распространения, которая позволяет восстанавливать образ облученного объекта аналитически путем решения обратной задачи.

### Постановка задачи и описание ее начальных и граничных условий

На плоскости задача восстановления сводится к обратному преобразованию Радона с помощью формулы обращения в виде:

$$h * g(\theta, s) = \int_{\mathbf{R}^1} h(\theta, s - t) g(\theta, s) dt. \quad (4)$$

Выражение (4) принято называть сверткой. Здесь  $h$  – преобразование Фурье, которое определяется выражением:

$$h(\theta, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbf{R}^1} e^{-is\sigma} h(\theta, s) ds. \quad (5)$$

На практике значения интегралов можно вычислить для конечного числа прямых лучей  $L$ , расположенных параллельно на одинаковом удалении друг от друга. Это расстояние в общем виде определяется размерами биологического объекта и длиной волны электромагнитного излучения. Размеры должны быть гораздо больше (в десятки раз) длины

волны излучения, тогда расстояние между направляемыми лучами должно быть соизмеримо с длиной волны излучения. Это соотношение учитывает спектр электромагнитного излучения  $T(E)$ , тогда выражение (2) примет вид:

$$\frac{I_1}{I_0} = \int_{R^1} T(E) \exp \left\{ - \int_L f(xE) dx \right\} dE. \quad (6)$$

Таким образом, задача восстановления образа облученного объекта состоит в определении функции поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, которые зависят от размеров объекта и длины волн излучения.

### Выводы

1. Основными целями радиолокационного наблюдения при решении задач предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера на охраняемых объектах являются люди, вооруженные и без оружия, оснащенные специальными средствами и без них, которые характеризуются площадью эффективной отражающей поверхности и определенными классификационными параметрами.

2. Главным свойством электромагнитных волн является прямолинейность их распространения, которая позволяет восстанавливать образ облученного объекта аналитически путем решения обратной задачи.

3. Задача восстановления образа облученного объекта состоит в определении функции поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, которые зависят от размеров объекта и длины волн излучения.

### Список использованной литературы

1. Кулаков М.А. Цивільна оборона. – Харків: НТУ-ХП, 2005. – 125 с.
2. Кодекс Цивільного захисту України (КЦЗУ). – 2016. Доступ: [www.urist-ua.net](http://www.urist-ua.net)
3. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю.Ю. Гончаренко // “Экономика и управление”. – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101.
4. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. Тр. СКУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СКУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245.
5. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Смычков, В.В. Рыбко // Сб. науч. праць СКУЯЭиП. – Вып. 1 (41). – Севастополь: СКУЯЭиП, 2012. – С. 207 – 211.
6. Радиолокационные устройства [Теория и принципы построения]. – М.: «Советское радио», 1970. – 680 с.
7. Широков Ю.Ф. Основы теории радиолокационных систем. – Самара: ГАЭУ, 2012. – 128 с.
8. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский // Учебн. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
9. Петров А.И. Статистическая теория радиотехнических систем // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
10. Информационные технологии в радиотехнических системах // Учебное пособие / 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов и др. // Под ред И.Б. Федорова. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 768 с.
11. Радиовидение. Радиолокационные станции зондирования Земли // Учебное пособие для вузов / Под. ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
12. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.

Надійшла 17.04.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Рудницький В.М.