

УДК 629.039: 351.749

Е.В. АЗАРЕНКО, Н.А. БОРОДИНА, Ю.Ю. ГОНЧАРЕНКО,  
Н.В. КАСАТКИНА, С.В. ЛАЗАРЕНКО, Е.А. РЫБКА  
Государственное предприятие «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛЮДЕЙ И ДРУГИХ ОПАСНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ПОДХОДАХ К ОХРАНЯЕМЫМ ОБЪЕКТАМ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЯХ

*Описывается математическая модель радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры как совокупность четырех функциональных зависимостей. Первое выражение определяет вероятность радиолокационного обнаружения. Вторая зависимость позволяет получить ожидаемую дальность обнаружения опасной цели. Третья функция описывает рабочее время поисковой системы, а четвертая позволяет рассчитать минимальные значения коэффициентов распознавания радиолокационных станций, необходимых для обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры.*

*Ключевые слова: математическая модель, радиолокационное обнаружение, идентификация, опасная цель, критическая инфраструктура.*

E.V. AZARENKO, N.A. BORODINA, Yu.Yu. GONCHARENKO,  
N.V. KASATKINA, S.V. LAZARENKO, E.A. RYBKA  
State Enterprise «Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine»

## DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF RADAR-OBJECTIVE DETECTION AND IDENTIFICATION OF PEOPLE AND OTHER HAZARDOUS GOALS ON APPROACHES TO PROTECTED OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE IN STANDARD CONDITIONS

*Prevention of emergencies of a terrorist nature is an urgent state task. To prevent terrorist attacks on critical infrastructure facilities, such as nuclear power plants, metallurgical plants, chemical and petrochemical plants, special protection structures have been created - physical protection services. They are equipped with means designed not only to control the perimeter, but also to monitor the adjacent areas of the protected facility. One type of surveillance equipment are radar stations. However, the lack of radar surveillance is a sufficiently long identification of dangerous targets.*

*The aim of this work was to develop a mathematical model of radar detection and identification of people and other dangerous targets on approaches to protected objects of critical infrastructure under standard conditions.*

*To achieve this goal, the following scientific problems were solved: the characteristic of standard conditions for detection of radar targets; the process of identifying dangerous targets on the approaches to the protected critical infrastructure object; The required mathematical model is synthesized by generalizing the obtained dependences.*

*The paper shows that the mathematical model of radar detection and identification of people and other dangerous targets on the approaches to protected objects of critical infrastructure is a set of four functional dependencies. The first of them determines the probability of radar detection of a dangerous target, depending on the width or radius of the controlled area around the object, the expected range of detection of the dangerous target, the time of its stay in the controlled area and the working time of the search system. The second allows to obtain the expected range of detection of a dangerous target by five main technical parameters of the radar (recognition coefficient, receiver sensitivity, antenna gain, pulse power, frequency), two target parameters (reflectivity and flight altitude) and two environmental factors (local relief function and the anomaly coefficient). The third describes the working time of the search system, depending on the values of the speed of the survey of space and the recognition rates of radar stations. The fourth determines the functions of absorbing electromagnetic radiation by the bioobject tissues over a certain number of linear integrals depending on the size of the object and the wavelength of the radiation and allows us to calculate the minimum values of the recognition coefficients of radar stations necessary for the detection and identification of people and other dangerous targets on the approaches to protected critical infrastructure objects.*

*Key words: mathematical model, radar detection, identification, dangerous goal, critical infrastructure.*

### Введение

Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера является актуальной государственной задачей особенно в настоящее время в условиях аннексии Крыма и военных действий на востоке страны [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 охраняемому объекту территориями [6-8]. Одним из видов средств наблюдения являются радиолокационные станции, которые способны обнаруживать злоумышленников в любое время суток в условиях ограниченной видимости, вызванных туманом, дымкой и другими гидрометеорологическими

явлениями. Кроме того, они позволяют обнаружить такие опасные цели, которые при визуальном сканировании пространства не всегда удастся своевременно выявить, например, беспилотные летающие аппараты или маскирующиеся под естественный цветовой фон люди [9-13]. Однако недостатком радиолокационного наблюдения является довольно продолжительная идентификация опасных целей.

### Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является разработка математической модели радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры в стандартных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи: 1) дать характеристику стандартных условий обнаружения радиолокационных целей; 2) рассмотреть процесс идентификации опасных целей на подходах к охраняемому объекту критической инфраструктуры; 3) описать искомую математическую модель, обобщив полученные зависимости.

### Стандартные условия обнаружения радиолокационных целей

Под стандартными условиями принято понимать определенные (эталонные) параметры процесса, не изменяющиеся в течение заданного промежутка времени, определяемого постановкой задачи. Применительно к радиолокации это совокупность параметров, которые характеризуют процесс получения радиолокационной информации, то есть обнаружение целей, измерение их координат и параметров движения, разрешение целей. Эти параметры разделяют на группы, формирующие энергетические и геометрические факторы обнаружения радиолокационных целей, факторы, определяемые состоянием приземных слоев атмосферы, и статистические (вероятностные) факторы.

В общем случае вероятность обнаружения опасной цели на подходах к охраняемому объекту критической инфраструктуры определяется четырьмя параметрами:  $D_{КЗ}$  – ширина или радиус контролируемой зоны, который определяется исходя из задач охраны и физической защиты объекта, ожидаемых террористических угроз, оперативной обстановки в городах-спутниках и закрепляется распоряжением или приказом соответствующего руководителя;  $D_0$  – ожидаемая дальность обнаружения опасной цели – многофакторный параметр, требующий сложных вычислений;  $t_{Ц}$  – время пребывания цели в зоне обнаружения РЛС, зависящее от цели проникновения злоумышленника или группы злоумышленников в контролируемую зону, их экипировки и технического оснащения, гидрометеорологической обстановки, определяется руководителем службы физической защиты объекта исходя из оперативной информации, которую он получает установленным порядком от компетентных органов;  $t_{ПР}$  – рабочее время поисковой системы, которое зависит от особенностей обработки и идентификации отраженных сигналов от опасной цели.

Таким образом, вероятность обнаружения опасной цели представляет собой функциональную зависимость от перечисленных выше параметров, то есть:

$$P_0 = f(D_{КЗ}, D_0, t_{Ц}, t_{ПР}). \quad (1)$$

Ожидаемая дальность обнаружения может быть получена в соответствии с выражениями системы (2):

$$\left. \begin{aligned} D_3 &= f[\Psi(D, f_{рлс}); \Pi_{эплс}(R_3)] \\ D_{Г} &= \phi(D_{лэ}, \alpha, F_{ра}, h_4) \\ D_0 &= A \cdot \begin{cases} D_{Г}, & \text{если } D_{Г} \approx D_3 \\ D_3, & \text{если } D_3 \ll D_{Г} \end{cases} \\ D_{\phi} &= \begin{cases} D_{\min}, & \text{если } P_{обн} = 1, \\ D_{ср}, & \text{если } P_{обн} = 0,5, \\ D_{\max}, & \text{если } P_{обн} < 0,5. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь главными факторами являются:  $P_{ЭРЛС}(R_Э)$  – энергетический потенциал радиолокационной станции (РЛС);  $\Psi(D, f_{РЛС})$  – закономерность спада электромагнитного поля;  $A$  – коэффициент аномалии среды;  $D_0$  – геометрическая дальность действия.

Энергетический потенциал РЛС определяет энергетическую дальность обнаружения  $D_0$ , зависит от четырех основных параметров РЛС:  $\delta$  – коэффициента распознавания,  $P_{пр}$  – чувствительности приёмника,  $K_{ус}$  – коэффициента усиления системы,  $P_u$  – импульсной мощности. Здесь также важна отражающая способность цели, которая определяется половиной площади отражающей поверхности  $R_Э$ . Закономерность спада электромагнитного поля обусловлена расширением фронта волны, а объёмное затухание – частотой РЛС  $f_{РЛС}$ . Исходя из этого, целесообразно утверждать, что энергетическая дальность обнаружения  $D_0$  функционально зависит от пяти параметров РЛС и одного параметра цели, то есть от  $(\delta, P_{пр}, K_{ус}, P_u, f_{РЛС}, R_Э)$ .

Рассматривая в совокупности факторы, определяющие геометрическую дальность обнаружения, можно выделить из них в качестве основного функционал  $F_{ра}$ , описывающий факторы влияния положительного и отрицательного рельефа местности по различным направлениям. Кроме того, необходимо учитывать высоту цели (особо важно это для воздушных целей) и коэффициент аномалии.

В результате ожидаемую дальность обнаружения опасной цели можно считать функционально зависящей от девяти параметров: от пяти главных параметров РЛС (коэффициента распознавания, чувствительности приёмника, коэффициента усиления антенны, импульсной мощности, частоты), двух параметров цели (отражающей способности – силы цели и высоты полёта), функционала местного рельефа и коэффициента аномалии среды, то есть:

$$D_0 = f(\delta, P_{пр}, K_{ус}, P_u, f_{РЛС}, R_Э, h_{ц}, F_{ра}, A). \quad (3)$$

### Идентификация опасных целей на подходах к охраняемому объекту критической инфраструктуры

Идентификация опасных радиолокационных целей описывается системой из двух зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} S_s(\omega) &= f(N_0), \\ S_s(\omega) &= K^S \cdot S(j\omega). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Первая функция зависит от общего числа принятых импульсных отражений от цели  $N_0$ , а вторая отражает соответствие сопряжения амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру полученного входного сигнала  $K^S$ .

С точки зрения технической реализации число  $N_0$  будет тем более, чем больше количество оборотов антенны РЛС, которое зависит от скорости вращения – технической характеристики РЛС, то есть от  $N_{обор}$  – числа оборотов в минуту. Для достоверной идентификации необходимо не менее трёх регистраций, то есть трёх оборотов антенны. В ряде случаев инструкциями определяется и 4, и 5 регистраций для более достоверной классификации опасной цели.

Кроме того, соответствие сопряжения амплитудно-частотной характеристики приемного устройства спектру входного полезного сигнала учитывает технический параметр РЛС  $\delta$  – коэффициент распознавания, тогда время идентификации опасной цели (рабочее время поисковой системы) зависит от скорости вращения антенны РЛС и коэффициента распознавания, то есть:

$$t_{ИП} = f(N_{обор}, \delta). \quad (5)$$

Присутствующий в выражениях (3) и (5) коэффициент распознавания  $\delta$  характеризует обработку отраженного от цели радиолокационного сигнала в приёмном устройстве РЛС, является безразмерной величиной, которая лежит в основе оптимального обнаружения и показывает, во сколько раз должно быть

превышение уровня или интенсивности принятого полезного сигнала над уровнем помех, действующих на вход приёмного устройства. С точки зрения статистической радиолокации коэффициент распознавания определяется соотношением интенсивности полезного сигнала и интенсивности помехи на входе приемного устройства при заданных вероятностях правильного обнаружения радиолокационной цели и ложной тревоги позволяет произвести только обнаружение цели. Для решения задачи идентификации опасной цели необходимо задавать другое соотношение интенсивности полезного сигнала и интенсивности помехи на входе приемного устройства, которое должно определяться отражающими свойствами радиолокационной цели.

### Математическая модель радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры в стандартных условиях

Известно, что при облучении цели (биологического объекта), электромагнитный луч частично поглощается.

Пусть функция  $f(x)$  характеризует степень поглощения электромагнитных лучей биотканями в некоторой точке  $x$  опасной радиолокационной цели, а величина  $\Delta I$  описывает происходящее при этом изменение интенсивности электромагнитного излучения, тогда относительное уменьшение интенсивности электромагнитного излучения на бесконечно малом отрезке  $\Delta x$  в точке  $x$  составит:

$$\frac{\Delta I}{I} = f(x)\Delta x. \quad (6)$$

Процесс облучения биологического объекта плоской электромагнитной волной можно представить как пронизывание его множеством лучей, как показано на рис. 1.

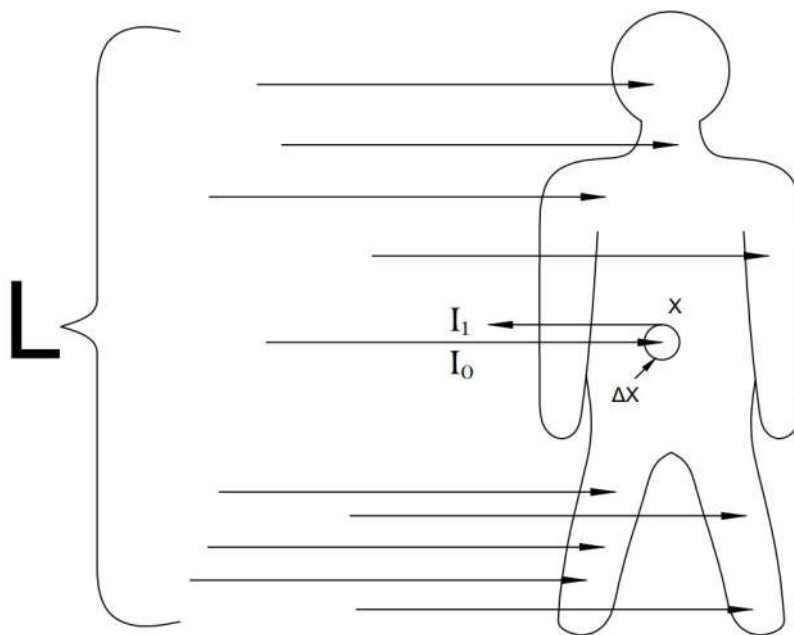


Рис. 1. Схема радиолокационного облучения объекта

Пусть на объект падает  $L$  лучей. Обозначим через  $I_0$  начальную интенсивность одиночного луча, а  $I_1$  – его интенсивность как отраженного от тела. С учетом выражения (6) получим:

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp\left\{-\int_L f(x)\Delta x\right\}. \quad (7)$$

В результате облучения потоком параллельных электромагнитных лучей получаем описание отраженного сигнала линейным интегралом функции  $f$ , которая описывает поглощение электромагнитных волн каждой точкой  $x$  поверхности биологического объекта. По совокупности этих интегралов можно восстановить соответствующие каждому лучу функции  $f$  и получить восстановленный образ биологического объекта.

Известно, что отображение функции, заданной в  $n$ -мерном пространстве  $\mathbf{R}^n$ , в множество ее линейных интегралов является преобразованием Радона  $\mathbf{R}$ , которое для случая двухмерного пространства (плоскости  $\mathbf{R}^2$ ) принимает вид  $\mathbf{R}^2$ .

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

$$\mathbf{R}f(\theta, s) = \int_{x=\theta=s} f(x) dx = \int_{\theta^\perp} f(s\theta + y) dy. \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой интеграл от 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. Поэтому, используя главное свойство электромагнитных волн – прямолинейность их распространения, можно восстанавливать образ облученного объекта аналитически путем решения обратной задачи.

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

$$h * g(\theta, s) = \int_{\mathbf{R}^1} h(\theta, s - t) g(\theta, t) dt. \quad (9)$$

Выражение (9) принято называть сверткой, где  $h$  – преобразование Фурье в виде:

$$h(\theta, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbf{R}^1} e^{-is\sigma} h(\theta, s) ds. \quad (10)$$

На практике значения интегралов можно вычислять 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, при этом размеры цели должны быть гораздо больше (в десятки раз) длины волны излучения, тогда расстояние между направляемыми лучами будет соизмеримо с длиной волны излучения. Это соотношение учитывает спектр электромагнитного излучения  $T(E)$ , и выражение (6) примет вид:

$$\frac{I_1}{I_0} = \int_{\mathbf{R}^1} T(E) \exp \left\{ - \int_L f(xE) dx \right\} dE. \quad (11)$$

В этом случае 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. Особенность этого поглощения падающей электромагнитной волны специфична для разных видов (классов) биологических целей и имеет множество индивидуальных признаков, которые по интенсивности и спектру поглощения позволяют не только классифицировать биологический объект как человека (мужчину, женщину, подростка, ребенка и др.), животное (собака, овца, корова и др.), но и персонализировать ее. Подобная идентификация осуществляется по интенсивности и спектру принятого электромагнитного сигнала, отраженного от биологической цели. Она реализуется посредством восстановления образа облученной цели по совокупности линейных интегралов, описывающих поглощение электромагнитной волны в каждой точке (на бесконечно малом отрезке, бесконечно малой площадке) облученной поверхности биологического объекта.

С учетом вышеизложенного и формулы (11) можно сделать заключение, что если в приемнике РЛС реализуется оптимальный прием, то значение коэффициента распознавания должно вычисляться по следующей формуле:

$$\frac{1}{\delta} = \int_{\mathbf{R}^1} T(E) \exp \left\{ - \int_L f(xE) dx \right\} dE. \quad (12)$$

Обобщая выражения (1), (3), (5) и (12), получим математическую модель радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры в стандартных условиях в виде следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= f(D_{K3}, D_0, t_y, t_{PP}) \\ D_0 &= f(\delta, P_{np}, K_{yc}, P_u, f_{PLC}, R_{\Sigma}, h_{\varphi}, F_{pa}, A) \\ t_{PP} &= f(N_{обор}, \delta) \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

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

### Выводы

Математическая модель радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры является совокупностью четырех функциональных зависимостей. Первая из них определяет вероятность радиолокационного обнаружения опасной цели в зависимости от ширины или радиуса контролируемой зоны вокруг объекта, ожидаемой дальности обнаружения опасной цели, времени её пребывания в контролируемой зоне и работного времени поисковой системы. Вторая зависимость позволяет получить ожидаемую дальность обнаружения опасной цели по пяти основным техническим параметрам радиолокационной станции (коэффициенту распознавания, чувствительности приёмника, коэффициенту усиления антенны, импульсной мощности, частоте), двум параметрам цели (отражающей способности и высоте полёта) и двум факторам среды (функционалу местного рельефа и коэффициенту аномалии). Третья описывает работное время поисковой системы в зависимости от значений скорости обзора пространства и коэффициентов распознавания радиолокационных станций, а четвертая определяет функции поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, зависящих от размеров объекта и длины волн излучения, и позволяет рассчитать минимальные значения коэффициентов распознавания радиолокационных станций, необходимых для обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры.

### Литература

1. Кулаков М. А. Цивільна оборона / Кулаков М.А. – Харків: НТУ-ХПІ, 2005. – 125 с.
2. Кодекс Цивільного захисту України (КЦЗУ). – 2016. – Режим доступу: <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. СНУЯЭиП.– Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 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 // Зб. наук. пр.СНУЯЭиП. – Вып. 1 (41).– Севастополь: СНУЯЭиП, 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 / Ю. Ф. Широков– Самара: ГАЭУ, 2012. – 128 с.
8. Бакулев П. А. Радиолокационные и радионавигационные системы: учебное пособие [для вузов] / П. А. Бакулев, А. А. Сосновский. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
9. Петров А. И. Статистическая теория радиотехнических систем: учебное пособие [для вузов] / А. И. Петров – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
10. Информационные технологии в радиотехнических системах: учебное пособие / [В. А. Васин, И. Б. Власов и др.]; под ред. И. Б. Федорова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – 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. Лазаренко С. В. Математическая модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту / Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, Н. В. Коноваленко, С. В. Лазаренко // Зв’язок.–№ 4. – Київ: ДУИКТ, 2016.– С. 21–28.
13. Гончаренко Ю. Ю. Методика оценки эффективности радиолокационного поиска опасных целей / Ю. Ю. Гончаренко, Г. В. Камышенцев, Н. В. Коноваленко, С. В. Лазаренко // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах».– № 1 (57).– Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017.–С. 76–80.

## Reference

1. Kulakov M.A. Tsyvil'na oborona / Kulakov M.A. – Kharkiv: NTU-KhPI, 2005. – 125 s.
2. Kodeks Tsyvil'nohozakhyestu Ukrayiny (KTsZU). – 2016. – Rezhym dostupu: <http://www.urist-ua.net>.
3. Honcharenko Yu. Yu. Struktura kontura upravlenyya ynformatsyonnoy bezopasnost'yu predpriyatyia / Yu. Yu. Honcharenko // “Ekonomyka y upravlenye”. – #5.– Symferopol': NAPKS, 2012. –S. 97–101.
4. Honcharenko Yu. Yu. Otsenka efektyvnosti upravlenyya chrezvychaynoy sytuatsyye / Yu. Yu. Honcharenko, E. V. Azarenko, Yu. V. Braslavskyydr. // Sb. nauch. tr. SNUYaEyP. – Vyp. 2 (38). – Sevastopol': SNUYaEyP, 2011. – S. 239–245.
5. Honcharenko Yu. Yu. Zashchyta ynformatsyy – kak ody n yz klyuchevykh aspektov predotvrashchenyya chrezvychaynykh sytuatsyy / Yu. Yu. Honcharenko, E. E. Smychkov, V.V. Rybko // Zb. nauk. prats' SNUYaEtaP. – Vyp. 1 (41). – Sevastopol': SNUYaEtaP, 2012. –S. 207–211.
6. Radyolokatsyonnye ustroystva [Teoryya y pryntsy py postroyenyya]. – М.: «Sovetskoe radyo», 1970. – 680 s.
7. Shyrokov Yu. F. Osnovy teoryy radyolokatsyonnykh system / Yu. F. Shyrokov– Samara: HAEU, 2012. – 128 s.
8. Bakulev P.A. Radyolokatsyonnyey radyonavyhatsyonnye systemy: uchebnoe posoby e [dlya vuzov] / P. A. Bakulev, A. A. Sosnovskyy. – М.: Radyoysvyaz', 1994. – 296 s.
9. Petrov A.Y. Statystycheskaya teoryya radyotekhnicheskyykh system: uchebnoe posoby e [dlyavuzov] / A. Y. Petrov– М.: Radyotekhnika, 2003. – 400 s.
10. Ynformatsyonnye tekhnolohyy v radyotekhnicheskyykh systemakh: uchebnoe posoby e / [V. A. Vasin, Y. B. Vlasov ydr.]; podred. Y. B. Fedorova. – [2-eyzd., pererab. ydop.]. – М.: Yzd. MHTUym. N.E. Baumana, 2004. – 768 s.
11. Radyovydenye. Radyolokatsyonnyestantsyyzondirovaniya Zemly: uchebnoeposoby e [dlyavuzov] / pod. red. H.S. Kondratenkova. – М.: Radyotekhnika, 2005. – 368 s.
12. Lazarenko S. V. Matematycheskaya model' radyolokatsyonnoho obnaruzhenyya opasnykh tseley na podkhodakh k okhranyaemomu potentsyal'no-opasnomu ob'ektu / Yu. Yu. Honcharenko, M. M. Dyvyznyuk, N. V. Konovalenko, S. V. Lazarenko // Zv'yazok. – № 4. – Kyiv: DUKIT, 2016. –S. 21–28.
13. Honcharenko Yu. Yu. Metodyka otsenky efektyvnosti radyolokatsyonnoho poyska opasnykh tseley / Yu. Yu. Honcharenko, N.V. Kamyshentsev, N.V. Konovalenko, S.V. Lazarenko // Mizhnarodnyy naukovy-tekhnichnyy zhurnal «Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh». – № 1 (57). – Khmel'nyts'ky: Khmel'nyts'ky natsional'nyy univertsytet, 2017. –S. 76–80.

Рецензія/Peer review : 04.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.01.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією