

УДК 551.463.2; 621.03.9

Гончаренко Ю.Ю., д.т.н.; Дивизинюк М.М., д.ф.-м.н.;
Коноваленко М.В.; Лазаренко С.В., к.т.н.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ПОДХОДАХ К ОХРАНЯЕМОМУ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНОМУ ОБЪЕКТУ

Goncharenko Yu.Yu., Divizinyuk M.M., Konovalenko M.V., Lazarenko S.V. A mathematical model of radar detection of dangerous targets on the approach to protected potentially dangerous objects. This paper analyzes the main provisions of the theory of search. It is shown that the process of discovering the search means with specified search equipment on them within a certain period of time direct the different number of exploratory efforts in various search area point. They are a search engine. Search strategy depends on the structure and dynamic behavior of the search engine. It is determined by the density of the search. The probability of detecting dangerous target in a controlled area of the protected object depends on four factors. The first - the width of this zone. The second - the range of detection of dangerous purposes. Third - during their stay in the detection zone. Fourth - dead time search engine.

With regard to the radar target detection mathematical model of radar target detection on the approach to protected potentially dangerous object. It is a combination of three functional dependencies. The first one determines the probability of the radar detecting dangerous target, depending on the width and radius-controlled zone around the facility, the expected range of detection of dangerous target, time of her stay in the controlled area and the search engine of the working time. The second allows you to get the expected range of detection of dangerous target five main technical parameters of radar (recognition factor, receiver sensitivity, antenna gain, pulse power, frequency), the two parameters of the target (reflectivity and height of flight) and two environmental factors (functional local relief and coefficient anomalies). The third equation describes the dead time search engine depending on the viewing rate of the value space and radar detection ratios.

Keywords: the expected detection range, field of view, dangerous radar target, mathematical model, search.

Гончаренко Ю.Ю., Дивизинюк М.М., Коноваленко М.В., Лазаренко С.В. Математична модель радіолокаційного виявлення небезпечних цілей на підходах до потенційно-небезпечного об'єкту, який охороняється. У роботі проаналізовано основні положення теорії пошуку. Показано, що в процесі виявлення засоби пошуку, за допомогою, встановленого на них пошукового обладнання протягом певного періоду часу направляють різну кількість пошукових зусиль в різні точки області пошуку. Вони являють собою пошукову систему. Стратегія пошуку залежить від структури і динамічної поведінки пошукової системи. Вона визначається щільністю пошуку. Ймовірність виявлення небезпечної мети в контрольованій зоні охоронюваного об'єкта залежить від чотирьох чинників. Перший - ширина цієї зони. Другий - дальність виявлення небезпечних цілей. Третій - час їх перебування в зоні виявлення. Четвертий - робітний час пошукової системи.

Відповідно до радіолокаційного виявлення цілей пропонується математична модель радіолокаційного виявлення цілей на підходах до охоронюваного потенційно-небезпечного об'єкту. Вона є сукупністю трьох функціональних залежностей. Перша з них визначає ймовірність виявлення радіолокації небезпечної мети в залежності від ширини або радіусу контрольованої зони навколо об'єкту, очікуваної відстані виявлення небезпечної мети, часу її перебування в контрольованій зоні і робочого часу пошукової системи. Друга дозволяє отримати очікувану дальність виявлення небезпечної мети за п'ятьма основними технічними параметрами радіолокаційної станції (коефіцієнту розпізнавання, чутливості приймача, коефіцієнту посилення антени, імпульсної потужності, частоти), двома параметрами цілі (відбивної здатності і висоти польоту) і двом факторам середовища (функціоналу місцевого рельєфу і коефіцієнту аномалії). Третя рівність описує робочий час пошукової системи в залежності від значень швидкості огляду простору і коефіцієнтів розпізнавання радіолокаційних станцій.

Ключові слова: очікувана дальність виявлення, зона огляду, небезпечна радіолокаційна ціль, математична модель, пошук.

Гончаренко Ю.Ю., Дивизинюк М.М., Коноваленко Н.В., Лазаренко С.В. Математическая модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту. В работе проанализированы основные положения теории поиска. Показано, что в процессе обнаружения средства поиска, с помощью установленного на них поискового оборудования, в течение определенного периода времени направляют различное количество поисковых усилий в различные точки области поиска. Они представляют собой поисковую систему. Стратегия поиска зависит от структуры и динамического поведения поисковой системы. Она определяется плотность поиска. Вероятность обнаружения опасной цели в контролируемой зоне охраняемого объекта зависит от четырех факторов. Первый - ширина этой зоны. Второй - дальность обнаружения опасных целей. Третий - время их пребывания в зоне обнаружения. Четвертый - рабочее время поисковой системы.

Применительно к радиолокационному обнаружению целей предлагается математическая модель радиолокационного обнаружения целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту. Она является совокупностью трёх 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 рабочего времени поисковой системы. Вторая 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). Третье равенство описывает рабочее время поисковой системы в зависимости от значений скорости обзора пространства и коэффициентов распознавания радиолокационных станций.

Ключевые слова: ожидаемая дальность обнаружения, зона обзора, опасная радиолокационная цель, математическая модель, поиск.

Введение

Организация работы по предотвращению чрезвычайных ситуаций террористического характера на объектах критической инфраструктуры возлагается на их службы физической защиты. Для предотвращения нештатных ситуаций в арсенале служб имеются средства оптоэлектронного, акустического, радиолокационного контроля территорий, прилегающих к охраняемым объектам [1-4]. Преимущество радиолокационных средств по сравнению с другими видами наблюдения состоит в их способности функционировать независимо от времени суток (днем и ночью), от прозрачности атмосферы (снегопад, дождь, дымка, туман, дым) и других гидрометеорологических явлений [5-7]. Эффективное использование радиолокационных станций (РЛС), прикрывающих объекты, с одной стороны, обеспечивается знанием их тактических и технических свойств [8, 9], с другой – использованием законов и основных положений теории поиска [10-12]. Выявление этих закономерностей позволяет разработать математическую модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту. На ее основе возможно создание программно-моделирующего комплекса для автоматизированного управления радиолокационным прикрытием охраняемого объекта, поэтому разработка вышеуказанной математической модели является актуальной научной задачей.

1. Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является разработка математической модели радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту для последующей её алгоритмизация и создания соответствующего программно-моделирующего комплекса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать основные положения теории поиска; рассмотреть особенности этих положений применительно к радиолокационному обнаружению целей на подходах к охраняемому объекту; разработать математическую модель радиолокационного обнаружения целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту.

2. Основные положения теории поиска

Наличие множества особенностей в постановке задач поиска привело к появлению молодого самостоятельного направления в математике, так называемой теории поиска.

Первоначально теория поиска развивалась исключительно для военных целей, но во второй половине XX века выяснилось, что теория поиска может быть применена для решения целого ряда народнохозяйственных задач. Например, в рыболовстве – когда осуществляется поиск больших рыбных косяков с использованием гидролокаторов и эхолотов, в геологии – при решении задач поиска полезных ископаемых, при проведении спасательных операций по поиску людей в море после кораблекрушения или заблудившихся в лесу или пустыне.

В общем случае в теории поиска задачи разделяют на два больших класса: поиск неподвижных и поиск движущихся целей. Первый случай поиска неподвижной цели относительно прост для исследования. Во втором случае, когда цель движется, начинают возникать математические сложности. Если движение цели детерминировано (известно направление её перемещения, пункт прибытия и др.), а начальное состояние (местоположение) и скорость движения могут быть случайными, то теорема Милютин-Дубовицкого эффективно решает эту проблему. В других случаях, когда цель движется случайным образом, необходимо проводить оптимизацию поиска.

Математически задача поиска состоит в определении положения цели, находящейся в заданной области Ω n -мерного евклидова пространства R_n с помощью транспортных средств, на которых установлено поисковое оборудование. Положение цели задаётся с помощью плотности распределения. Для неподвижной цели плотность распределения не зависит от времени и имеет вид $u(x)$, где $x \in \Omega$.

Если цель подвижна, то её плотность распределения будет зависеть от времени и иметь вид $u(x,t)$, где $x \in \Omega$ и $t \geq 0$. Вид функции $u(x,t)$ может определяться либо характером движения цели, либо задаваться некоторым уравнением.

Закономерности обнаружения, как правило, сложны и определяются множеством факторов. В процессе обнаружения средства поиска с помощью установленного на них поискового оборудования в течение определенного периода времени направляют различное количество поисковых усилий в различные точки x области Ω . Обозначим поисковое усилие в точке x как $\phi(x)$, тогда вероятность обнаружения в точке x зависит от $\phi(x)$. Если цель находится в точке x , то вероятность её обнаружения $q(x,\phi(x))$ имеет ряд свойств.

1) Если поиска нет, то цель не может быть обнаружена, то есть $\phi(x)=0 \Rightarrow q(x,0)=0$ для всех $x \in \Omega$.

2) Поскольку функция $q(x,\phi(x))$ имеет смысл вероятности, то $0 \leq q(x,\phi(x)) \leq 1$ для всех поисковых усилий.

3) Функция $q(x,\phi(x))$ – возрастающая, так как увеличение поисковых усилий увеличивает вероятность обнаружения, и равна $q(x,\phi) = 1 - \exp(-\phi)$.

4) Существует предел: $\lim_{\phi \rightarrow \infty} q(x,\phi) = q_\infty(x)$, где $q_\infty(x) \leq 1$ для всех $x \in \Omega$.

Необходимо заметить, что совокупность средств, на которых установлено поисковое оборудование, сами образцы оборудования представляют собой систему поиска или поисковую систему.

Стратегия поиска, задающая программу поиска, зависит от структуры и динамического поведения поисковой системы. Под стратегией поиска также понимают плотность поиска, которая определяется функцией $\Pi(x,\phi)$, называемой функцией плотности поиска. Как правило, она связана с поисковыми усилиями выражением (1):

$$\phi(x) = \int_0^{t_{\text{п}}} \Pi(x,\phi) dt, \quad (1)$$

где t_{Π} – время предполагаемого поиска.

Если поисковое усилие $\varphi(x)$, функция $q(x, \phi)$ и плотность распределения цели известны, то вероятность обнаружения цели за время t_{Π} будет равна:

$$P(t_{\Pi}) = \int_{\Omega} q(x, \phi(x)) u(x) dx. \quad (2)$$

Выражение (2) принято называть поисковым функционалом поисковой задачи. Для фактического определения функций $\varphi(x)$ и $q(x, \phi)$ необходима подробная детализация характера области Ω , характеристика целей поиска, информация о системе поиска и средствах поиска, их структуре и законах обнаружения.

3. Применение основных положений теории поиска к радиолокационному обнаружению целей на подходах к охраняемому объекту

Применение основных положений теории поиска рассмотрим на примере гипотетического охраняемого объекта, представленного на рис. 1. Охраняемый периметр имеет прямоугольную форму. В вершинах прямоугольника, углах охраняемого периметра, установлены четыре РЛС, каждая из которых имеет определённую дальность действия $D_{РЛС1}, \dots, D_{РЛС4}$ одной и той же опасной цели. Объект имеет санитарную зону, ширина которой $D_{СЗ}$ значительно меньше дальности обнаружения опасной цели, и контролируруемую зону, радиус которой $D_{КЗ}$ больше дальности обнаружения опасной цели.

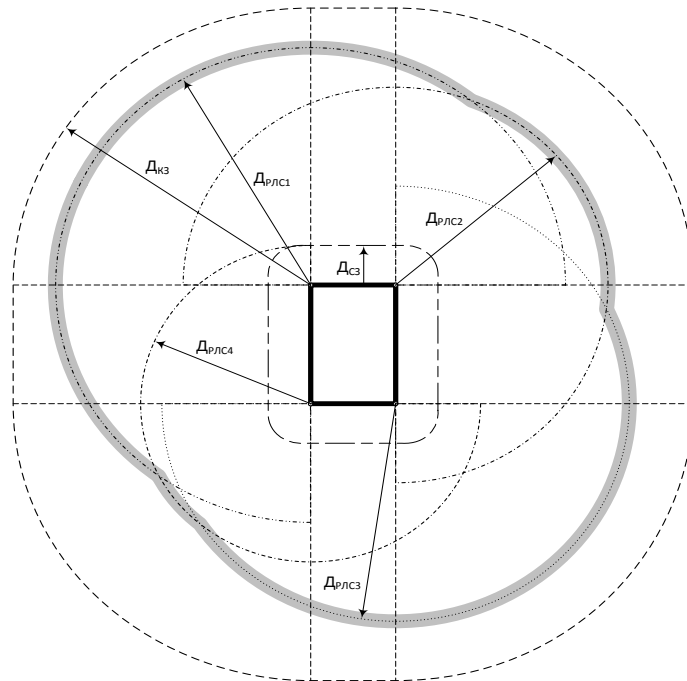


Рис. 1. Схема зон контроля и наблюдения РЛС на охраняемом объекте

Возможны три принципиально различные ситуации.

Первая ситуация. Опасная цель находится в санитарной зоне, то есть дальность её обнаружения может быть только в зоне достоверного обнаружения РЛС.

Вторая ситуация. Когда опасная цель находится в контролируемой зоне, перекрываемой зоной обзора РЛС, тогда цель может быть как в зоне достоверного, так и в зонах эффективного и вероятного обнаружения РЛС.

Третья ситуация. Когда опасная цель находится в контролируемой зоне, но за пределами обзора РЛС. В этом случае говорить о радиолокационном обнаружении не приходится, поэтому будем рассматривать только первую и вторую ситуации.

В первом случае опасная цель равновероятно находится в любой точке санитарной зоны, площадь которой равна произведению ширины зоны на её протяжённость, то есть $D_{CЗ} \times L_{CЗ}$. Вся эта зона полностью покрыта радиолокационным полем за счет излучения с определённой периодичностью импульсными электромагнитными сигналами. При появлении в этой зоне опасной цели от неё будут отражаться электромагнитные сигналы и фиксироваться радиоприёмными устройствами РЛС.

Для принятия решения о наличии опасной цели, которое делает оператор РЛС и старший оператор на пульте физической защиты охраняемого объекта, необходим определённый промежуток времени $t_{ПР}$. Если цель будет находиться в зоне наблюдения РЛС меньший промежуток времени, то попросту не будет обнаружена. Поэтому t_y – время, в течение которого опасная цель находится в зоне действия РЛС, должна быть больше $t_{ПР}$ – времени принятия решения или работного времени системы поиска. Тогда поисковые усилия, прикладываемые системой для обнаружения опасной цели, будут равны:

$$\phi = D_{CЗ} \cdot L_{CЗ} \cdot K_{РЛС} \cdot (t_y - t_{ПР}), \quad (3)$$

где $K_{РЛС}$ – коэффициент РЛС, обуславливающий перевод значения ϕ в безразмерную величину.

Исходя из (3), вероятность обнаружения опасной цели в санитарной зоне примет вид:

$$P_{CЗ} = 1 - \exp[-D_{CЗ} \cdot L_{CЗ} \cdot K_{РЛС} \cdot (t_y - t_{ПР})]. \quad (4)$$

Во втором случае каждая из четырёх РЛС освещает обстановку в секторе, составляющем 3/4 круга, определяемого дальностью обнаружения РЛС – $D_{РЛСi}$, где $i = 1, 2, 3, 4$. Иными словами, каждая из РЛС контролирует зону, площадь которой равна $\frac{3}{4} \pi D_{РЛСi}^2$, тогда общая

площадь, контролируемая всеми РЛС: $\frac{3}{4} \pi \sum_{i=1}^4 D_{РЛСi}^2$.

Необходимо отметить, что площадь, полученная в результате суммирования, гораздо больше, чем реальная площадь освещения РЛС (выделенная зона на рис. 1). Это вызвано тем, что зоны обзора каждой РЛС пересекаются с двумя смежными. Но, с точки зрения теории поиска, поисковые усилия, прикладываемые системой поиска для обнаружения опасной цели, учитывают всю сканируемую область:

$$\phi = \left(\frac{3}{4} \pi \sum_{i=1}^4 D_{РЛСi}^2 \right) \cdot K_{РЛС} \cdot (t_y - t_{ПР}). \quad (5)$$

Исходя из (5), вероятность обнаружения опасной цели в контролируемой зоне примет вид:

$$P_{CЗ} = 1 - \exp \left[- \frac{3}{4} \pi K_{РЛС} \cdot (t_y - t_{ПР}) \sum_{i=1}^4 D_{РЛСi}^2 \right]. \quad (6)$$

Обобщая формулы (4) и (6), можно отметить, что в общем случае вероятность обнаружения опасной цели на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту определяется четырьмя параметрами: шириной или радиусом контролируемой зоны, дальностью обнаружения опасной цели, временем пребывания цели в зоне обнаружения РЛС и работным временем поисковой системы, то есть:

$$P_0 = f(D_{КЗ}, D_0, t_y, t_{ПР}). \quad (7)$$

Таким образом, вероятность обнаружения опасной цели в контролируемой зоне функционально зависит от ширины этой зоны, дальности обнаружения опасных целей, времени их пребывания в зоне обнаружения и рабочего времени поисковой системы.

4. Математическая модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально опасному объекту

Математическая модель должна обеспечить расчёт вероятности обнаружения опасной цели и времени её идентификации.

Вероятность обнаружения опасной цели является функциональной зависимостью, которая, в соответствии с выражением (7), определяется следующими параметрами.

1) $D_{кз}$ – ширина или радиус контролируемой зоны. Этот параметр определяется исходя из задач охраны и физической защиты объекта, ожидаемых террористических угроз, оперативной обстановки в городах-спутниках и закрепляется распоряжением или приказом соответствующего руководителя.

2) D_0 – ожидаемая дальность обнаружения опасной цели – многофакторный параметр, который требует сложных вычислений.

3) t_y – время пребывания цели в зоне обнаружения РЛС. Этот параметр зависит от цели проникновения злоумышленника или группы злоумышленников в контролируемую зону, их экипировки и технического оснащения, гидрометеорологической обстановки, и определяется руководителем службы физической защиты объекта исходя из оперативной и разведывательной информации, которую он получает установленным порядком от компетентных органов.

4) $t_{пп}$ – рабочее время поисковой системы, которое зависит от особенностей обработки и идентификации отражённых сигналов от опасной цели и требует специального рассмотрения.

Ожидаемая дальность обнаружения определяется в результате решения системы уравнений, в которой главными факторами являются: энергетический потенциал РЛС ($P_{ЭРЛС}(R_э)$), закономерность спада электромагнитного поля ($\Psi(D, f_{РЛС})$), коэффициент аномалии среды (A), геометрическая дальность действия (D_G).

Энергетический потенциал РЛС зависит от четырех основных параметров РЛС: коэффициента распознавания δ , чувствительности приёмника $P_{пр}$, коэффициента усиления системы $K_{ус}$, импульсной мощности P_u . Здесь же 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 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 как основной функционал, описывающий факторы влияния положительного и отрицательного рельефа местности по различным направлениям – $F_{ра}$. Кроме этого, 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:

$$D_0 = f(\delta, P_{пр}, K_{ус}, P_u, f_{РЛС}, R_э, h_\phi, F_{ра}, A). \quad (8)$$

Идентификация опасных радиолокационных целей также описывается системой уравнений, одно из которых определяется общим числом принятых импульсных отражений от цели N_0 , другое – отношением сопряжения амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру полученного входного сигнала K^S . С точки зрения технической реализации число N_0 будет тем больше, 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 достоверной классификации опасной цели.

Соответствие сопряжения амплитудно-частотной характеристики приемного устройства спектру входного полезного сигнала учитывает технический параметр РЛС δ – коэффициент распознавания. Иначе говоря, время идентификации опасной цели (рабочее время поисковой системы) зависит от скорости вращения антенны РЛС и коэффициента распознавания, то есть:

$$t_{IP} = f(N_{обор}, \delta). \quad (9)$$

Обобщив (7), (8) и (9), получим математическую модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту в виде следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= f(D_{кз}, D_0, t_y, t_{IP}) \\ D_0 &= f(\delta, P_{np}, K_{yc}, P_u, f_{РЛС}, R_{э}, h_{\phi}, F_{p\alpha}, A) \\ t_{IP} &= f(N_{обор}, \delta) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Выводы

Таким образом, математическая модель радиолокационного обнаружения опасных целей на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту является совокупностью трёх 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 рабочего времени поисковой системы. Вторая 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). Третье равенство описывает рабочее время поисковой системы в зависимости от значений скорости обзора пространства и коэффициентов распознавания радиолокационных станций.

Список использованной литературы

1. 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.
2. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Сычков, В.В. Рыбко // Збірник наукових праць СНУЯЭтаП. – Севастополь: СНУЯЭтаП, 2012. – Вип. 1 (41). – С. 207 – 211.
3. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю.Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и

управление». – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101.

4. Азаренко Е.В. Защита информации в системах мониторинга чрезвычайных ситуаций / Е.В. Азаренко, О.В. Бляшенко, М.М. Дивизинюк, В.Е. Ковач // Научно-технический сборник «Правовое, нормативное та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні» - Київ: Державна служба спеціального звуку та захисту інформації в Україні НТУУ «КПІ», 2015. – Вип. 1. (29). – С. 82 – 87.

5. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем / А.И. Перов. – Учеб. пособие для вузов. – Москва: Радиотехника, 2003. – 400 с.

6. Радиолокационные устройства [Теория и принципы построения]. – Москва: 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 / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. – Учеб. пособие для вузов. – Москва: Радио и связь, 1994. – 296 с.

9. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю.Г. Сосулин. – Учеб. пособие для вузов. – Москва: Радио и связь, 1992. – 304 с.

10. Абчук В.А. Поиск объектов / В.А. Абчук, В.Г. Суздаль. – Л.: Судостроение, 1977. – 128 с.

11. Галеев Э.М. Лекции “Выпуклый анализ и его приложения” [Электронный ресурс] / Галеев Э.М. // – Режим доступа: <http://galeev.math.msu.su/convex-Baku/lectures>

12. Теорема Милютина-Дубовицкого. [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://informaticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000039/st014.shtml>

Автори статті

Гончаренко Юлія Юрївна – доктор технічних наук, доцент, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна. Тел. +38 067 692 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Дівізінюк Михайло Михайлович – доктор фізико-математичних наук, професор, заступник директора з наукової роботи, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна. Тел. +38 067 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Коноваленко Микола Володимирович – аспірант, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна. Тел. +38 067 692 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Лазаренко Сергій Володимирович - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Систем технічного захисту інформації, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 067 244 78 67. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Authors of the article

Honcharenko Yuliya Yuriyivna – doctor of Science (technic), assistant professor, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 692 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Divizinyuk Mykhaylo Mykhaylovych – doctor of Science (physico-mathematical), professor, Deputy Director of Research, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 692 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Konovalenko Mykola Volodymyrovych – post-graduate student, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry NAS of Ukraine”, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 692 88 02. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Lazarenko Sergiy Volodymyrovych - candidate of Science (technic), associate professor, Head of Department of Technical Information protection systems, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 244 78 67. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Дата надходження в редакцію: 28.10.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.І. Семенко