

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОИСКА ОПАСНЫХ ЦЕЛЕЙ

Проведен анализ основных положений теории поиска и особенностей радиолокационного обнаружения опасных целей. Показано, что радиолокационные цели могут быть простыми и сложными, точечными и распределенными, поверхностными и объемными. К опасным целям относятся злоумышленники элементы их снаряжения и вооружения. Они могут передвигаться на различных наземных, водных, воздушных и подручных транспортных средствах. Эффективность радиолокационного поиска опасных целей определяется их дальностью обнаружения. Методика этих расчетов приводится в работе.

Ключевые слова: опасная цель, радиолокационная станция, охраняемых объект, дальность обнаружения, поиск.

YU.YU. GONCHARENKO, G.V. KAMYSHENTSEV, N.V. KONOVALENKO, S.V. LAZARENKO

State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine»

METHOD OF ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF RADAR SEARCH DANGEROUS TARGETS

The analysis of the main provisions of the theory of search features and radar detection of dangerous purposes. It has been shown that radar targets can be simple or complex, and distribution point, surface and volume. Hazardous objectives are criminals elements of their equipment and weapons. They can move to different land, water, air and scrap vehicles. The effectiveness of the search radar dangerous targets determined by their detection range. The methodology of these calculations are given in the work.

Keywords: dangerous target, radar, protected object detection range search.

Введение

Предотвращение чрезвычайных ситуаций террористического характера является актуальной проблемой для Украины. На объектах критической инфраструктуры эту проблему решают службы физической защиты. Они оснащены средствами оптоэлектронного, акустического, радиолокационного контроля территорий вокруг охраняемых объектов [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]. Для эффективного обнаружения опасных целей необходимо использовать два обязательных правила. Во-первых, знать тактические и технические параметры радиолокационных станций [8,9]. Во-вторых, применять основные положения теории поиска [10-12]. Использование этих правил позволяет разработать методику оценки эффективности радиолокационного поиска опасных целей на подходах к охраняемому объекту.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является разработка математической модели радиолокационного поиска опасных целей на подходах к охраняемому объекту.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать основные положения теории поиска. Во-вторых, рассмотреть особенности радиолокационного обнаружения опасных целей. В-третьих, разработать методику радиолокационного поиска целей на подходах к охраняемому объекту.

Основные положения теории поиска

Первоначально теория поиска развивалась исключительно для военных целей. Во второй половине двадцатого века выяснилось, что теория поиска может быть применена для решения других задач. Например, в рыболовстве, когда осуществляется поиск больших рыбных косяков. В геологии во время поиска полезных ископаемых. При проведении спасательных операций по поиску людей в море после кораблекрушения или людей, заблудившихся в лесу или пустыне.

В теории поиска задачи разделяют на два больших класса: поиск неподвижных целей 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, а начальное местоположение и скорость движения могут быть случайными, то эта проблема эффективно решается с использованием теоремы Милютин-Дубовицкого. 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 . Определение местоположения цели осуществляется 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 движется, 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 характером движения цели или задаваться некоторым уравнением.

В процессе поиска транспортные средства 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 $q(x,\phi(x))$ является возрастающей, так как увеличение поисковых усилий увеличивает вероятность обнаружения. Она 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 $x \in \Omega$.

Заметим, что совокупность транспортных 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 $\Pi(x,\phi)$. Ее называют функцией плотности поиска. Как правило, она связана с поисковыми усилиями выражением (1):

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

где t_{Π} – время предполагаемого поиска.

Если поисковое усилие $\phi(x)$, 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 $\phi(x)$ 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.

Особенности радиолокационного обнаружения опасных целей

Радиолокационные цели могут быть простыми и сложными. Отражающая поверхность простых целей определяется аналитическим расчетом площади их поверхности. Это такие объекты, как металлический шар, пластина, вибратор, уголкового отражатель. Для сложных целей эффективная отражающая площадь может быть определена только экспериментальным путем. К сложным целям относится большинство реальных целей. Эти цели, в свою очередь, могут быть разделены на точечные и распределенные. К точечным целям относятся такие объекты, линейные размеры которых значительно меньше элементов разрешения радара по дальности и угловым координатам. Эффективная отражающая поверхность точечных целей определяется экспериментально. Их важная особенность состоит в том, что точечные цели практически не увеличивают длительность отраженного сигнала. Они также не изменяют его спектр по сравнению с сигналом, отраженным от цели в виде геометрической точки.

У распределенных целей линейные размеры больше элементов разрешения радара. Их ракурс (направление облучения) изменяет и спектр отраженного сигнала и его энергетические соотношения. Распределенные цели могут быть поверхностными и объемными. К первым могут относиться земная поверхность и водная гладь, склон горы и край каньона. Ко вторым – облака пассивных помех в виде дипольных отражателей или выброс пепла из кратера вулкана при его извержении. Для распределенных целей экспериментально определяется средняя удельная эффективная отражающая поверхность. Эта величина характеризует отражающие свойства единицы площади или объема.

В основе работы всех радиосистем извлечения информации о координатах и других характеристиках того или иного объекта лежат три важных свойства электромагнитных волн. Первое свойство – это прямолинейность их распространения в свободном пространстве. Второе – постоянство скорости их распространения в свободном пространстве. Третье – весьма малые изменения их направления (рефракция) вследствие неоднородности и анизотропности реальной среды распространения в приземном пространстве.

К опасным целям в первую очередь относятся биологические радиолокационные цели. Это злоумышленники, элементы их снаряжения и вооружения. Обычный человек среднего телосложения, стоя в

полный рост, имеет одну эффективную отражающую поверхность. Если на него надеть металлическую каску, то она увеличится. Добавляя к этому специальную обувь и снаряжение в виде бронежилетов, пуленепробиваемых накладок и пластин, эффективная отражающая поверхность среднестатистического человека существенно возрастает. Наличие металлического стрелкового вооружения в виде автомата, гранатомета, пистолета и боекомплекта приводит к еще большему росту эффективной отражающей поверхности. Другими словами, электромагнитный сигнал, отражающийся от среднестатистически одетого человека, стоящего в полный рост, за счет одетого на него специального обмундирования, снаряжения и вооружения может возрастать в десятки раз.

Заметим, что вооруженный человек, по пояс стоящий в овраге, будет иметь эффективную отражающую поверхность вдвое меньшую, чем стоящий открыто в полный рост. Если он ляжет на землю, то отражающая поверхность уменьшится еще больше. То есть биологическая цель в виде человека будет иметь различную эффективную отражающую поверхность в зависимости от одетого на него снаряжения и вооружения, а также от его положения относительно оси (направления) излучения электромагнитного сигнала.

Подобное происходит и с другими биологическими целями. Животные в обычном своем состоянии имеют определенную отражающую поверхность. Она существенно, до полутора раз, возрастет, если на это животное одеть дополнительное снаряжение. Например, на голову собаки закрепить видеокамеру, а вместо ошейника надеть радиопередающее устройство, транслирующее видеoinформацию злоумышленникам. Если на тело собаки дополнительно надеть специальный жилет, оснащенный несколькими килограммами взрывчатки, отражаемый от нее электромагнитный сигнал будет значительно больше, чем от обычной (не оснащенной) собаки. Крепление автономных микро видеокамер к лапкам голубей увеличивает их эффективную отражающую поверхность в полете в полтора-три раза.

Злоумышленники могут передвигаться на мотоциклах, легковых автомобилях, в микроавтобусах и автобусах, на грузовых автомобилях и других транспортных средствах. К ним можно отнести велосипеды, мопеды, мотороллеры, скутеры. Они также могут воспользоваться подручными средствами передвижения, такими как ролики, скейты и другие.

В случае, когда охраняемый объект примыкает к естественному или искусственному водоему, то злоумышленники могут использовать водные транспортные средства. Это металлические, пластиковые, резиновые и композитные катера и моторные лодки. Заметим, что эффективная отражающая поверхность плавсредств зависит от скорости хода и степени их загрузки людьми. Чем больше скорость катера идущего под мотором, тем выше и длиннее волна, поднимаемая за счет движения. Соответственно, больше площадь отражающей поверхности. Аналогично и в отношении загрузки плавсредства. Чем большее число людей находится в лодке, тем больше ее отражающая поверхность.

Для передвижения по воздуху злоумышленники могут использовать одно- и двухместные автожиры, дельтапланы и парашюты, как свободно планирующие, так и оснащенные специальными двигателями. Для разведки и доразведки охраняемого объекта и других действий могут использоваться беспилотные летательные аппараты. В зависимости от своего основного назначения их максимальные геометрические размеры могут колебаться от десятков сантиметров (авиамодель) до нескольких метров.

Деревья и кустарники также отражают электромагнитные волны, излучаемые радиолокационными станциями. Они обнаруживаются на определенном расстоянии и имеют определенную эффективную отражающую поверхность. Ее величина зависит от времени года (например, зимой на деревьях и кустарниках нет листьев), ветра (ветки неподвижны или колеблются с определенной амплитудой), осадков (ветки и стволы сухие, влажные или покрыты снегом). Вооруженный человек, стоящий рядом со стволом дерева, приведет к увеличению суммарной эффективной отражающей поверхности. Это вызовет увеличение мощности отражаемого электромагнитного сигнала.

Электромагнитные сигналы, излучаемые радиолокационными станциями, также будут отражаться от распределенных целей, таких как земная поверхность и водная гладь. В зависимости от состояния подстилающей поверхности степень этого отражения будет различной. Асфальтовое, бетонное и любое другое покрытие будут заметно отличаться от разрыхленного грунта вспаханного поля или газона с подстриженной травой. Эти электромагнитные отражения создают специфический (местный) электромагнитный фон, который имеет свою пространственно-временную изменчивость. Он может использоваться злоумышленниками как средство естественной маскировки. Вооруженный человек, лежащий на траве и прикрывающийся ветками, будет наблюдаться на экране радара как мерцающее пятно. Отличить подобного злоумышленника от других реальных пятен может позволить траектория его перемещения, периодическое появление и исчезновение, и другие классификационные признаки.

Методика оценки эффективности радиолокационного поиска опасных целей на подходах к охраняемому объекту.

Под методикой, в самом широком толковании этого термина, принято понимать совокупность приёмов практической деятельности, приводящей к заранее определённым результатам [13]. Оценка эффективности радиолокационного поиска опасных целей на подходах к охраняемому объекту определяется дальностью их обнаружения. В нашем случае рассматривается практическая деятельность оператора радиолокационной станции (РЛС) по расчёту дальности обнаружения опасной цели.

Методика расчета вероятности обнаружения опасных 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 $P_{пр}$ 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 – $K_{ус}$, безразмерная величина, как правило, равен 600-1500, и в децибелах будет составлять 27-32 дБ.

Величина мощности излучения $P_{и}$ 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 $\Psi(D, f)$. 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, как показано на рис.1.

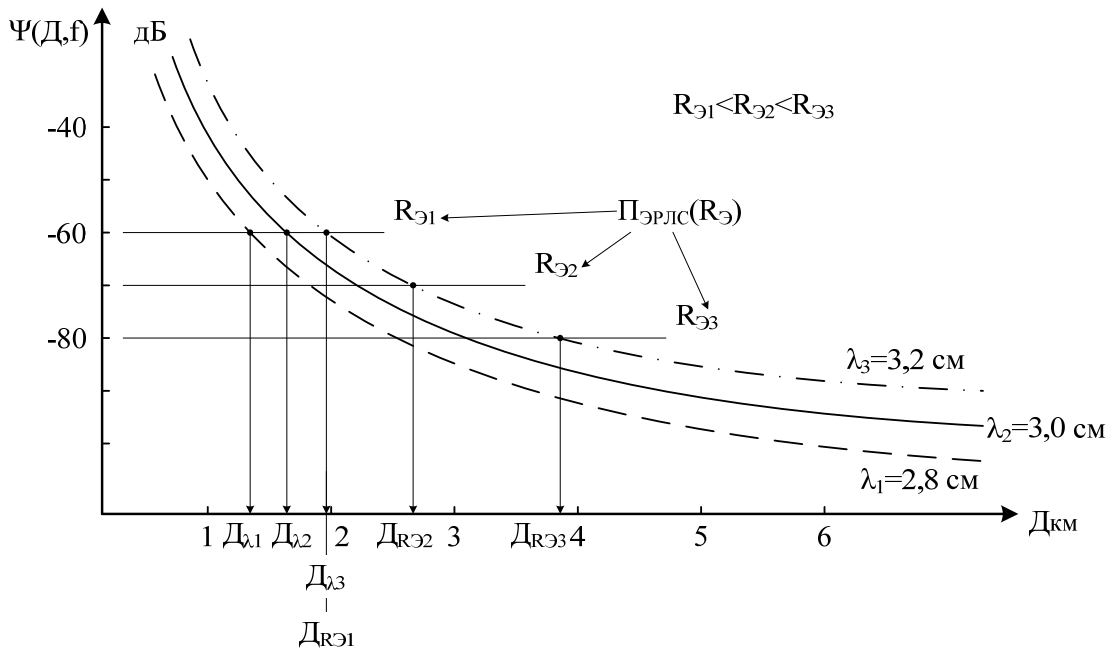


Рис. 1. Графическая интерпретация неравенства дальности действия

4. Определяется главный параметр облучаемой радиолокационной цели – площадь её отражающей поверхности $R_{с}$, которая измеряется в m^2 . Она может изменяться в пределах от $0,05 m^2$ до $500 m^2$ 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 $\Pi_{эрлс}$ 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.

Выводы

Разработанная методика оценки эффективности радиолокационного поиска опасных целей включает шесть последовательных этапов действий. Первоначально это определение численных значений главных параметров радиолокационных станций и опасных целей. Затем расчет закономерностей спада интенсивности электромагнитного поля и значений энергетического потенциала станций по конкретным

радиолокационным целям. После чего нахождение соответствия (равенства) половины величины энергетического потенциала значению закономерности спада интенсивности электромагнитного поля и определение соответствующего этому равенству значения текущего расстояния. Это расстояние является энергетической дальностью обнаружения и позволяет оценить эффективность радиолокационного поиска опасных целей.

Литература

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 СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – Вып. 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 // Науково-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні» - Київ: Державна служба спеціального звуку та захисту інформації в Україні НТУУ «КПІ», 2015. – Вып. 1. (29). – С. 82 – 87.
5. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
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. – Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
9. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – Учеб. пособие для вузов. – М.: 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". – Баку: 2014. Доступ: <http://galeev.math.msu.su/convex-Baku/lectures>
12. Теорема Милютин-Дубовицкого. Доступ: <http://informaticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000039/st014.shtml>
13. Новая философская энциклопедия / Под ред. В.С. Степина. – М.: Мысль, 2001. – Том 4. – 257 с.

References

1. Goncharenko Yu.Yu. Otsenka effektivnosti upravleniya chrezvychaynoy situatsiy [Evaluation of emergency management efficiency] / Yu.Yu. Goncharenko, E.V. Azarenko, Yu.V. Braslavskiy and others // Coll. of sci. p. SNUYaEiP. - vol. 2 (38). - Sevastopol: SNUYaEiP, 2011. - pp. 239 - 245.
2. Goncharenko Yu.Yu. Zashchita informatsii - kak odin iz klyuchevykh aspektov predotvrascheniya chrezvychaynykh situatsiy [Data protection - as one of the key aspects of emergency prevention] / Yu.Yu. Goncharenko, E.E. Syichkov, V.V. Ryibko // Coll. of sci. p. SNUYaEiP. - vol. 1 (41). - Sevastopol: SNUYaEiP, 2012. - pp. 207 - 211.
3. Goncharenko Yu.Yu. Struktura kontura upravleniya informatsionnoy bezopas-nostyu predpriyatiya [The structure of the enterprise information security management loop] / Yu.Yu. Goncharenko // Scientific and practical journal "Economics and Management". - no. 5. - Simferopol: NAPKS, 2012. - pp. 97 - 101.
4. Azarenko E.V. Zashchita informatsii v sistemah monitoringa chrezvychaynykh situatsiy [Protection of information in emergency situations monitoring systems] / E.V. Azarenko, O.V. Blyashenko, M.M. Divizinyuk, V.E. Kovach // Scientific and practical journal «Pravove, normativne ta metrologichne zabezpechennya system zahystu informatsiyi v Ukraini» - Kyiv: Derzhavna sluzhba spetsial-nogo zvuku ta zahystu informatsiyi v Ukraini NTUU «KPI» (in Ukrainian), 2015 - vol 1. (29). - pp. 82-87.
5. Perov A.I. Statisticheskaya teoriya radiotekhnicheskikh system [Statistical theory of radio systems]. / Textbook for high schools. - Moscow: Radiotekhnika (in Russian), 2003. - p. 400.
6. Radiolokatsionnyie ustroystva (Teoriya i printsipy postroeniya) [Radar devices (Theory and principles of construction)]. - Moscow: «Sovetskoe radio». (in Russian), 1970. - p. 680.
7. Shirokov. Yu.F. Osnovy teorii radiolokatsionnykh system [Basic theory of radar systems]. - Samara: GAEU (in Russian), 2012. - p. 128.
8. Bakulev P.A. Radiolokatsionnyie i radionavigatsionnyie sistemy [Radar and radio navigation systems]. / P.A. Bakulev, A.A. Sosnovskiy // Textbook for high schools. - Moscow: Radio i svyaz (in Russian), 1994. - p. 296.
9. Sosulin Yu.G. Teoreticheskie osnovy radiolokatsii i radionavigatsii [Theoretical basis of radar and navigation]. / Textbook for high schools. - Moscow: Radio i svyaz (in Russian), 1992. - p. 304.
10. Abchuk V.A. Poisk ob'ektov [Property Search] / V.A. Abchuk, V.G. Suzdal – Leningrad: Sudostroenie (in Russian), 1977. - p. 128.
11. Galeev E.M. Leksii "Vyipuklyiy analiz i ego prilozheniya", / Baku, 2014. Ref: <http://galeev.math.msu.su/convex-Baku/lectures>
12. Teorema Milyutina-Dubovitskogo [Theorem Milutin-Dubovitskij], / Ref: <http://informaticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000039/st014.shtml>
13. Novaya filosofskaya entsiklopediya [New Encyclopedia of Philosophy]. / By V.S. Stepina. - Moscow: Myisl (in Russian), 2001. part 4. - p. 257.

Рецензія/Peer review : 16.1.2017 р.

Надрукована/Printed :27.2.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією