

Ю.Л.Козирацкий, доктор технических наук, профессор  
А.В.Иванцов, кандидат технических наук  
Н.Н.Шамшин

### **Средства имитации вооружения и военной техники и их эффективность в комплексе со средствами активной маскировки**

*В статье предложены принципы построения и способы технической реализации совокупности перспективных средств имитации инфракрасного диапазона, проведена оценка их потенциальной эффективности в совокупности со средствами активной маскировки. Показано, что при реализации средства имитации с меньшими, чем у реального образца значениями уровней сигнала возможно увеличение ошибки распознавания за счет прикрытия средства имитации активными маскирующими помехами, при этом уровень необходимой мощности помехи составляет единицы процентов от уровня мощности сигнала. Проведена оценка военно-экономической целесообразности средств имитации и показано, что при стоимости средства имитации на уровне 0,1-1% от стоимости защищаемого образца вооружения и военной техники использование комплекта из 4-5 средств имитации на один защищаемый объект является экономически целесообразным.*

Важность мероприятий по защите вооружения и военной техники (ВВТ) от технических средств разведки (ТСР) и высокоточного оружия (ВТО) является несомненной. Одной из важных слагаемых защиты ВВТ от ТСР и ВТО являются средства имитации, эффективность применения которых подтверждена локальными вооруженными конфликтами последних лет, таких как операция НАТО против Югославии (1996-1999 гг.) и Ирака (2003 г.) [1].

К настоящему времени широко известны различные типы средств имитации, функционирующих в различных диапазонах длин волн [2, 3]. Наиболее распространенными средствами имитации являются ложные цели видимого диапазона, представляющие собой пневматические или каркасные макеты имитируемых объектов различной степени детализации. Широко применяются радиолокационные имитаторы: от уголкового отражателя до детальных ложных целей, имитирующих радиолокационную сигнатуру истинной цели. Используются тепловые имитаторы, представляющие собой единичные источники тепло-

вого излучения (получаемого путем сгорания жидкого топлива, либо электрическим путем), по диапазону и температуре примерно соответствующие характеристикам имитируемого объекта. Существуют комбинированные ложные цели, представляющие собой надувные макеты, выполненные из металлизированной прорезиненной ткани с установленными в местах, соответствующих расположению нагретых частей, источниками теплового излучения. Комбинированные ложные цели могут включать в себя средства радиоэлектронной имитации, обеспечивающие создание ложной радиоэлектронной обстановки.

На сегодняшний день сложилась ситуация, когда существующие средства имитации типовых образцов вооружения и военной техники не обеспечивают достоверной имитации для современных средств оптико-электронной разведки, функционирующей в инфракрасном диапазоне. Это обусловлено тем, что в появляющихся в последние годы в армиях стран НАТО системах и средствах оптико-электронной разведки ИК-диапазона [4] решение о наличии в поле зрения средства раз-

ведки образца ВВТ принимается по следующим информационным признакам: во-первых, цель должна иметь тепловой контраст с фоном (первичный признак распознавания); и, во-вторых, цель должна иметь определенный тепловой портрет (вторичный признак распознавания).

Пространственная селекция осуществляется с помощью матричного приемника ИК-излучения, расположенного в фокальной плоскости оптической системы средства разведки, которая позволяет получить тепловой портрет наблюдаемой цели. Это с использованием математических алгоритмов распознавания целей обеспечивает выбор наиболее похожего на цель объекта среди всех прочих источников теплового излучения. Исходя из основных признаков обнаружения и селекции целей средствами разведки ИК-диапазона, основными демаскирующими признаками образцов ВВТ являются уровень их излучения относительно фона (который в общем случае может быть как положительным, так и отрицательным) и распределение интенсивности этого излучения по поверхности образца ВВТ.

**Целью статьи** является анализ недостатков существующих средств имитации ИК-диапазона и разработка предложений по принципам построения и путям технической реализации совокупности перспективных средств имитации ИК-диапазона, а также оценка их потенциальной эффективности в совокупности со средствами активной маскировки.

Анализ существующих средств имитации ИК-диапазона [2, 3] показывает, что их недостатком является несоответствие теплового портрета теплового портрету имитируемых образцов ВВТ, что приводит к снижению эффективности их применения. Кроме того, используемые способы создания теплового контраста не позволяют реализовывать отрицательный контраст образца ВВТ и фона, что имеет значение в случае, когда фон имеет бо-

лее высокую температуру, чем образец ВВТ, и (или) часть образца ВВТ находится в тени.

Одним из путей повышения эффективности средств имитации в ИК-диапазоне является придание им пространственной структуры, обеспечивающей создание теплового портрета средства имитации, по пространственным и энергетическим характеристикам соответствующего теплового портрету реального образца ВВТ, с возможностью реализации как положительного, так и отрицательного контраста относительно подстилающей поверхности, а также средств маскирующих помех.

Поэтому для создания теплового портрета, идентичного теплового портрету реального образца ВВТ, необходимо выполнение источника теплового излучения в виде двумерной матрицы (сети) из точечных тепловых излучателей, расстояние между которыми меньше разрешения средств разведки, и системы управления, позволяющей регулировать интенсивность излучения каждого излучателя<sup>1</sup>. Точечные излучатели представляют собой терморезисторы, степень нагрева которых определяется величиной пропускаемого через них тока.

Излучения совокупности излучателей с разной температурой, располагающихся друг от друга на расстоянии, меньшем разрешения средств разведки, будут восприниматься матричным приемником как единое тепловое изображение с разной температурой отдельных областей. За счет индивидуального управления излучателями в соответствии с записанным в память тепловым портретом создается общий тепловой портрет, идентичный теплового портрету имитируемого образца ВВТ. При наличии в памяти записанных тепловых портретов нескольких типовых образцов ВВТ возможно воспроизведение любого из них, что существенно расширяет возможности применения предлагаемого средства имитации. Предлагаемой сетью могут на-

1 Козирацкий Ю.Л., Иванцов А.В., Горовой В.Ю. и др. Патент РФ № 2278344. Тепловой имитатор.

крываться пневматические или каркасные макеты образцов ВВТ, что обеспечит комплексную имитацию в нескольких физических полях.

Для снижения временных и физических затрат, необходимых для развертывания средства имитации, возможно его исполнение в виде пневматического макета образца военной техники, выполненного из металлизированной ткани, в которой интегрирована сеть из точечных излучателей<sup>1</sup>. Такое исполнение избавляет от необходимости распутывать сеть из излучателей и корректировать их размещение, что позволяет повысить оперативность развертывания средств имитации, хотя и снижает универсальность их применения.

На тепловых изображениях образцов ВВТ можно выделить участки поверхности, имеющие определенные характерные формы, соответствующие формам основных узлов (агрегатов), и одинаковые значения температуры (различной градации). Например, для танка после марша наиболее сильно, но приблизительно одинаково разогрета область двигателя, менее сильно, но также приблизительно одинаково – трансмиссия и т. п. Каждый такой участок с одинаковой температурой может имитироваться одним площадным излучателем. Поэтому для снижения числа управляемых излучателей возможно их площадное исполнение. Излучатели в этом варианте реализации имеют форму участков теплового изображения имитируемого образца ВВТ, в пределах которых температура одинакова, а размер площади каждого излучателя соответствует размеру площади участка. В таком средстве имитации площадные электрические излучатели выполняются идентичными по форме с имитируемыми участками реального образца ВВТ<sup>2</sup>. Очевидно, что при этом

качество имитации будет зависеть от разрешающей способности средств разведки в значительно меньшей степени и определяться, в первую очередь, точностью реализации нагреваемых элементов.

В ходе применения образцов ВВТ возможны условия, когда температура фона выше температуры образца ВВТ, либо какие-то его части нагреты меньше (находятся в тени). Для реализации средства имитации, имеющего возможность создания отрицательного теплового контраста, возможно использование термоэлектрических модулей (ТЭМ), позволяющих формировать поверхности различной формы, имеющие значительный тепловой контраст (как положительный, так и отрицательный) с фоном [5].

Единичным элементом термоэлектрического модуля является термопара, состоящая из одного полупроводника (ветки)  $p$ -типа и одного полупроводника  $n$ -типа. В зависимости от направления движения электронов и, соответственно, тока, происходит нагрев или охлаждение участка полупроводника в местах его непосредственного контакта с металлом. При этом количество этого тепла пропорционально току, проходящему через ТЭМ, а разность температур холодной и горячей стороны достигает нескольких десятков градусов. При изменении направления тока горячая и холодная поверхности меняются местами. Благодаря применению гибких шин питания и небольших массогабаритных размеров элементов, поверхности могут быть различны как по плоскостному расположению, так и по геометрии. При расположении ТЭМ в виде мозаики или сети (матрицы) на относительно гибкой поверхности можно имитировать любые площади поверхностей, которые в сочетании с гибкими теплорассеивающими материалами могут имитировать существующие образцы ВВТ.

Исходя из вышесказанного, технические решения по созданию средств имитации вооружения и военной техники ИК-диапазона включают:

1 Козирацкий Ю.Л., Иванцов А.В., Горовой В.Ю. и др. Патент РФ № 2345311. Комбинированная ложная цель.

2 Козирацкий Ю.Л., Иванцов А.В., Иванцов В.В. и др. Патент РФ № 2500973. Комбинированная ложная цель.

средство имитации ИК-диапазона в виде двумерной матрицы (сети) с точечными тепловыми излучателями в узлах сети;

комбинированную ложную цель в виде пневматического макета образца ВВТ, выполненного из металлизированной ткани, в который интегрировано средство имитации ИК-диапазона (сеть из точечных излучателей);

комбинированную ложную цель в виде пневматического макета образца ВВТ с площадными излучателями, по форме и температуре соответствующими нагретым элементам реального образца ВВТ;

комбинированную ложную цель с возможностью создания отрицательного теплового контраста за счет использования термоэлектрических модулей.

Однако необходимо отметить, что высокая детализация средств имитации достигается за счет их усложнения и удорожания. Одним из путей повышения эффективности

средств имитации является их применение совместно с маскирующими помехами, что придает важность оценке эффективности различения образцов ВВТ и средств имитации на фоне помех.

С использованием разработанных авторами методик [6, 7] была оценена эффективность различения изображений от уровня шумов в изображении средства имитации. При этом исследовалось воздействие как постоянных (среднее значение которых может быть оценено и скомпенсировано), так и флуктуирующих шумов (излучений с хаотической амплитудной модуляцией, уровень которых априорно неизвестен и не может быть скомпенсирован).

Графики зависимостей вероятности суммарной ошибки  $P_{sp}$  и вероятности перепутывания  $P_{pp}$  от величины среднего значения шумов в изображении средства имитации  $n2$  представлены на рисунке 1.

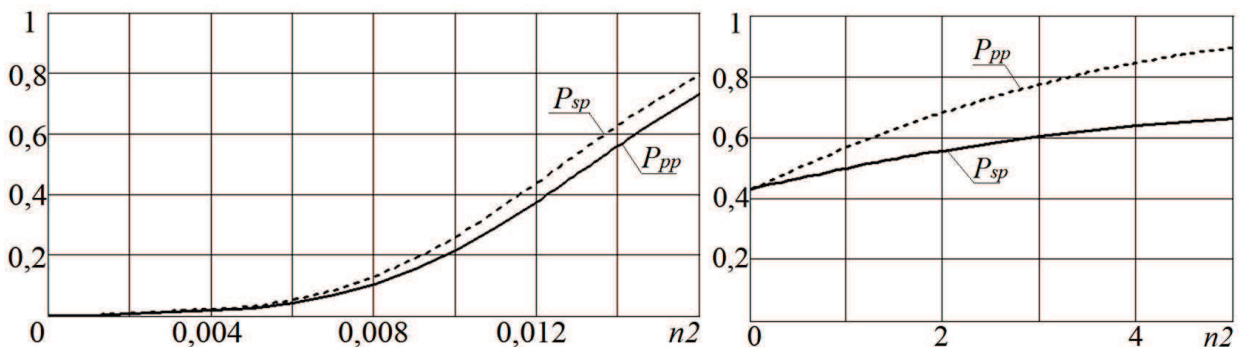


Рисунок 1 – Графики зависимости  $P_{sp}$  и  $P_{pp}$  от уровня шума для постоянных (а) и флуктуирующих (б) шумов

Для оценки вероятности суммарной ошибки от степени подобия изображений в изображении средства имитации изменялись значения элементов ( $K$  элементов имели интенсивность меньшую, чем в изображении истинной цели, на 10-90 %), при этом уровень шумов был одинаковым. Графики зависимости вероятности суммарной ошибки  $P_s$  от степени подобия изображений приведены на рисунке 2.

Из анализа зависимостей можно сделать выводы о том, что с увеличением шумов ве-

личины вероятностей  $P_{sp}$  и  $P_{pp}$  возрастают и при больших значениях шумов истинная цель и средство имитации принимаются за истинную цель с вероятностью, близкой к 1. Сравнение графиков зависимостей для постоянных и флуктуирующих шумов показывает, что флуктуирующие шумы в описанных условиях оказывают меньшее воздействие на вероятностные характеристики различения. Применение активных маскирующих помех флуктуирующего типа потребует большей мощности помех сравнительно с постоянными поме-

хами, однако требования к точности реализации их мощности могут быть значительно ниже. При равном значении уровня шумов значения вероятности суммарной ошибки за-

висят от степени подобия изображений, при этом видно, что изменение уровня сигнала на 5-10% не оказывает существенного влияния на значение вероятности суммарной ошибки.

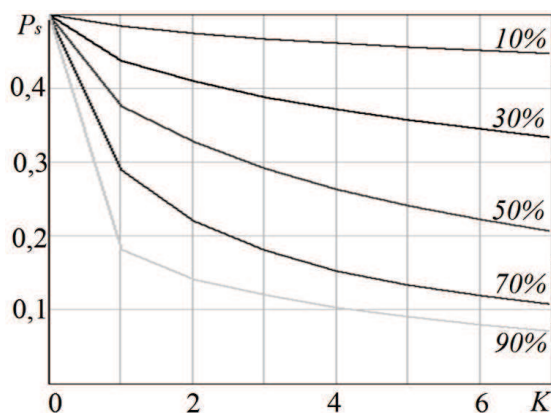


Рисунок 2 – Зависимости  $P_s$  от степени подобия изображений истинной цели и средства имитации

Эффективность средств имитации зависит от их количества и возможностей средств поражения и может быть оценена снижением вероятности поражения защищаемых объектов, для количественной оценки которого авторами в [8] был предложен соответствующий методический аппарат.

Пусть после проведения разведки по целям, принятым за истинные, будет нанесен удар высокоточными боеприпасами (ВТБ). При этом по каждой цели, принятой за истинную, применяется, как правило, несколько ВТБ. Число целей, принятых в результате разведки за истинные ( $G_\Sigma$ ) можно представить как

$$G_\Sigma = G_\zeta + \Delta G_{ил}, \quad (1)$$

где  $G_\zeta$  – число истинных целей, принятых в результате разведки за истинные;

$\Delta G_{ил}$  – число средств имитации (ложных целей), принятых в результате разведки за истинные.

Количество боеприпасов, назначаемых на каждую цель, определяется располагаемым ресурсом ВТБ  $Q$ . Среднее количество ВТБ, приходящихся на одну цель  $g$ , выражается следующим образом:

$$g = \frac{Q}{G_\Sigma}. \quad (2)$$

Относительное число уничтоженных истинных целей, защищаемых средствами имитации, как показано авторами в [8], определяется выражением:

$$G_N = \frac{N_{пор}}{G_\zeta} = \frac{1}{1 + \Delta G_\zeta} [1 - (1 - \bar{P})^{1 + G_\zeta}], \quad (3)$$

где  $N_{пор}$  – число уничтоженных истинных целей;

$\bar{P}$  – среднее значение вероятности поражения одной цели;

$$G_\zeta = \Delta \frac{G_{ил}}{G_\zeta} \quad \text{– относительное среднее}$$

число ложных целей, принятых за истинные (по отношению к числу истинных целей, принятый за истинные);

$$G_{ВТ} = \frac{Q}{G_\zeta} \quad \text{– среднее число ВТБ, приходя-$$

щихся на одну истинную цель (планируемый средний расход ВТБ на одну истинную цель).

Графики зависимостей  $G_N$  от  $G_\zeta$  при  $\bar{P}=0,8$  для различных значений  $G_{ВТ}$  приведены на рисунке 3. Анализ графика показывает, что применение средств имитации существенно снижает вероятность поражения объектов. Однако при применении относительно большого количества средств имита-



ции (4-5 средств имитации на один образец ВВТ) наступает насыщение, то есть дальней-

шее их увеличение дает малый прирост эффективности.

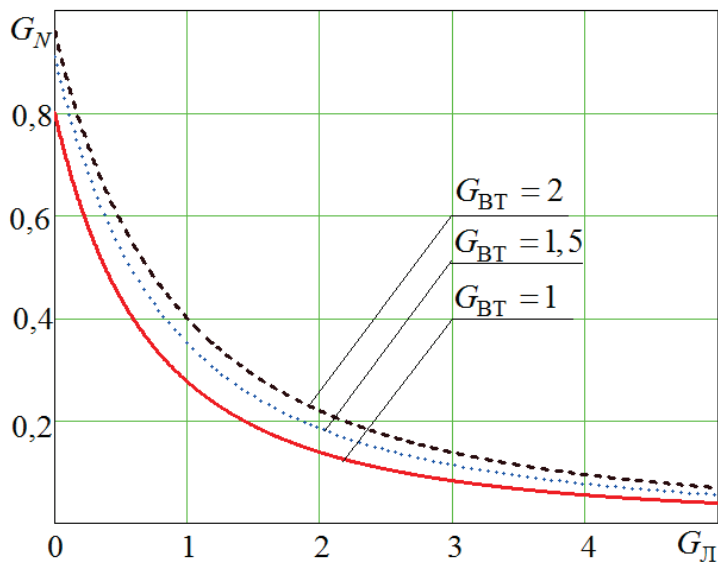


Рисунок 3 –Графики зависимостей  $G_N$  от  $G_L$  при  $\bar{P}=0,8$  для различных значений  $G_{ВТ}$

Поэтому при принятии решения о количестве необходимых для защиты от ВТО средств имитации важным является вопрос военно-экономической целесообразности (ВЭЦ). Наиболее логичным критерием ВЭЦ является критерий превышения предотвращенного ущерба (за счет применения средств имитации) в стоимостном выражении над стоимостью средств имитации [9].

Рассмотрим общие условия ВЭЦ разработки средств имитации для защиты от ВТО. Для средств имитации образцов ВВТ предотвращенный ущерб при использовании  $n$  средств имитации  $\Delta C_n$  можно выразить следующей зависимостью:

$$\Delta C_n = P_{пор0} C_0 - P_{порn} \left( C_0 + \sum_{i=1}^n C_{лц} \right), \quad (4)$$

где  $C_0$  – стоимость защищаемого образца ВВТ;

$C_{лц}$  – стоимость средства имитации данного образца ВВТ;

$P_{пор0}$  – вероятность поражения образца ВВТ при отсутствии средств имитации;

$P_{порn}$  – вероятность поражения объекта, защищаемого  $n$  средствами имитации.

Условием целесообразности использования средств имитации для защиты образца ВВТ будет следующее:

$$P_{пор0} C_0 - P_{порn} \left( C_0 + \sum_{i=1}^n C_{лц} \right) \geq \sum_{i=1}^n C_{лц}. \quad (5)$$

Преобразуем условие (5) к виду:

$$F_{э} = \frac{P_{пор0} - P_{порn}}{1 + P_{порn}} - \frac{\sum_{i=1}^n C_{лц}}{C_0} \geq 0. \quad (6)$$

Левая часть условия (6) называется показателем ВЭЦ. По своему содержанию величина  $F_{э}$  характеризует превышение предотвращенного ущерба над стоимостью средств имитации, отнесенное к стоимости защищаемого образца ВВТ.

При оценке ВЭЦ применяется понятие относительной стоимости, определяемое для средств имитации как отношение стоимости комплекта из  $n$  средств имитации к стоимости защищаемого образца ВВТ:

$$\delta c_{лцn} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{лц}}{C_0}. \quad (7)$$

Тогда, используя (4) и (5), получим выражение для определения эффективности средств имитации:

$$P_{порn} = \frac{P_{пор0} - F_э - \delta c_{лцn}}{F_э - \delta c_{лцn} + 1} \quad (8)$$

С использованием (8) рассчитаны и на рисунке 4 приведены зависимости между относительной стоимостью комплекта из  $n$  средств имитации и их эффективностью  $P_{порn}$  для положительных значений показателя ВЭЦ  $F_э$  при  $P_{пор0} = 0,8$ .

Полученные зависимости позволяют определить те значения эффективности и относительной стоимости средств имитации,

при которых их применение целесообразно. Так, при заданной эффективности комплекса  $P_{порn} = 0,2$  и показателе ВЭЦ  $F_э = 0,3$  использование средств имитации будет целесообразно, если их суммарная стоимость будет составлять не более 20% стоимости защищаемого объекта. Исходя из анализа открытых источников, для типовых наземных образцов ВВТ (бронетехника, полевая артиллерия, ЗРК) можно определить стоимость одного средства имитации в размере 0,1-1% от стоимости истинного образца ВВТ.

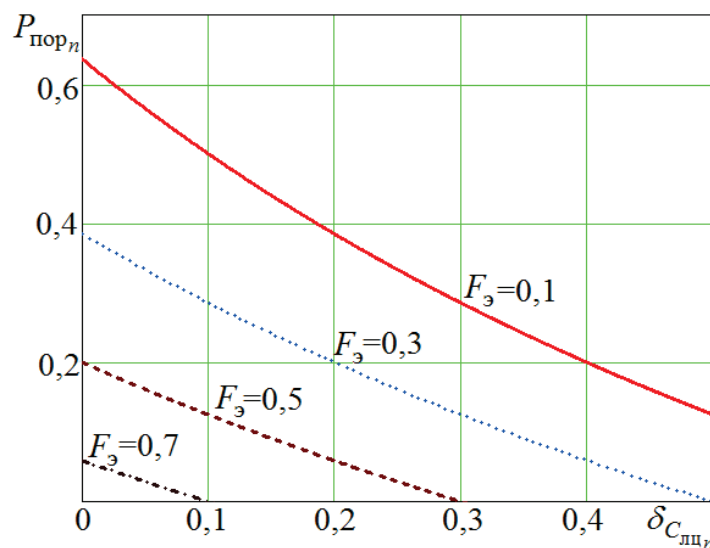


Рисунок 4 – Графики зависимости эффективности средств имитации  $P_{порn}$  от относительной стоимости комплекта из  $n$  средств имитации для значений показателя ВЭЦ  $F_э = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7$  при  $P_{пор0} = 0,8$

Таким образом, в статье предложены принципы построения и способы технической реализации совокупности перспективных средств имитации ИК-диапазона, а также проведена оценка их потенциальной эффективности в совокупности со средствами активной маскировки. Установлено, что при одинаковой помеховой обстановке различие в уровнях сигнала в изображениях образца ВВТ и средства имитации на 5-10% не оказывает существенного влияния на вероятностные показатели различения. При реализации средства имитации с меньшими, чем у реального образца ВВТ, значениями уровней сигнала воз-

можно увеличение ошибки распознавания за счет прикрытия средства имитации активными маскирующими помехами, при этом уровень необходимой мощности помехи составляет единицы процентов от уровня мощности сигнала. Проведена оценка ВЭЦ средств имитации и показано, что при стоимости средства имитации на уровне 0,1-1% от стоимости защищаемого образца ВВТ использование комплекта из 4-5 средств имитации на один защищаемый объект является экономически целесообразным.

**Список использованных источников**

1. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах: военно-исторический труд / Под ред. А.С. Рукшина. – М.: Воениздат, 2009. – 764 с.
2. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
3. Каталог «Средства инженерного вооружения». – М.: 15 ЦНИИИ МО, 2000. – 125 с.
4. Лифанов Ю.С., Саблин В.Н., Салтан М.И. Направления развития зарубежных средств наблюдения за полем боя. – М.: Радиотехника, 2006. – 64 с.
5. Драбкин И.А. Характеристики термоэлектрических модулей. – СПб, 2002. – 146 с.
6. Иванцов А.В., Козирацкий Ю.Л. Алгоритм различения изображений, имеющих одинаковые геометрические размеры // Радиотехника. – 2005. – № 7. – С. 82-84.
7. Козирацкий Ю.Л., Иванцов А.В., Кусакин А.В. Алгоритм различения пуассоновских и гауссовских изображений с одинаковыми геометрическими размерами в флуктуирующих шумах // Радиотехника. – 2013. – № 7. – С. 78-84.
8. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения / Под ред. Ю.Л.Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.
9. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций. – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.