



УДК 623.624.2
ГРНТИ 78.25.41

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*А.Н. ГЛУШКОВ, доктор технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
П.Е. КУЛЕШОВ, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Н.В. ДРОБЫШЕВСКИЙ
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье разработан системный подход к обеспечению требуемой разведзащищенности оптико-электронного средства и проведен анализ влияния основных параметров оптико-электронного средства на его эффективность и разведзащищенность. В результате анализа влияния основных параметров оптико-электронного средства на его информационные возможности и вероятность выигрыша в конфликте со средством разведки выявлены закономерности, позволяющие оптимизировать параметры, в максимальной степени снижающие эффективность средств разведки при обеспечении требуемой эффективности функционирования оптико-электронного средства.

Ключевые слова: разведзащищенность, оптико-электронное средство, лазерное средство разведки, функциональное поражение, информативность изображения.

SYSTEM ANALYSIS OF OPTICAL-ELECTRONIC INTELLIGENCE SECURITY

*A.N. GLUSHKOV, Doctor of Technical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
P.E. KULESHOV, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
N.V. DROBYSHEVSKIY
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article developed a systematic approach to ensuring the required sensitivity of the optical-electronic means and analyzed the influence of the main parameters of the optical-electronic means on its effectiveness and intelligence security. As a result of analyzing the influence of the main parameters of the optoelectronic device on its information capabilities and the probability of winning in conflict with the reconnaissance tool, patterns have been identified that make it possible to optimize parameters that reduce to the maximum the effectiveness of reconnaissance equipment while ensuring the required efficiency of the optoelectronic device.

Keywords: intelligence security, optical-electronic means, laser means of intelligence, functional damage, information content of the image.

Введение. Разведзащищенность оптико-электронного средства (ОЭС) – способность ОЭС в процессе конфликтного взаимодействия с техническими средствами разведки противника сохранять в тайне сведения, необходимые для организации поражения (подавления) ОЭС (воздействия по ОЭС). Управление разведзащищенностью ОЭС – целенаправленное изменение влияющих на разведзащищенность излучательных и отражательных характеристик ОЭС. Оно должно обеспечить эффективное скрытие ОЭС от его разведки лазерным комплексом функционального поражения (ЛКФП) при функционировании ОЭС.



Актуальность. Решение данной задачи осложняется тем, что параметры ОЭС контрпродуктивно влияют на их информационные возможности и разведзащищенность. Например, при увеличении поля зрения оптического прибора возрастает контролируемая им область пространства, но при этом возрастают возможности систем разведки по обнаружению ОЭС. Поэтому задачу обеспечения требуемой разведзащищенности ОЭС целесообразно ставить как задачу определения параметров ОЭС, в максимальной степени снижающих эффективность работы средств разведки при обеспечении требуемой эффективности функционирования самого ОЭС. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных разработке ОЭС, обширная библиография по которым содержится в [1], задача обеспечения их требуемой разведзащищенности пока не получила законченного решения. Главным образом, это связано с отсутствием методического аппарата, связывающего параметры ОЭС и ЛКФП с разведзащищенностью и эффективностью функционирования ОЭС.

Цель работы состоит в разработке системного подхода к обеспечению требуемой разведзащищенности оптико-электронного средства и проведении анализа влияния основных параметров оптико-электронного средства на его эффективность и разведзащищенность.

В качестве показателя разведзащищенности целесообразно использовать вероятность выигрыша ОЭС в информационном конфликте с лазерным средством разведки (ЛСР), которое используется ЛКФП для обнаружения ОЭС и наведения на него мощного лазерного излучения. Данный показатель может быть определен с использованием динамической модели процесса защиты ОЭС от ЛСР, приведенной в [2].

Математическая формализация данной задачи имеет следующий вид. Дано:

- тип ОЭС, использующих множество способов защиты от ЛСР Ξ_X , характеризуемых вектором $\vec{X} \in \Xi_X$;

- тип ЛСР, использующих множество способов определения характеристик разведываемого объекта Θ_Y , характеризуемых вектором $\vec{Y} \in \Theta_Y$;

- оптико-метеорологические и геометрические условия функционирования ОЭС и ЛСР, характеризуемые вектором параметров среды $\vec{g}_{cp} \in V_{cp}$.

Для заданных типов ОЭС, ЛСР, параметров среды требуется определить значение целевой функции для таких параметров ОЭС, при которых обеспечиваются максимальные значения разведзащищенности, характеризуемой вероятностью выигрыша ОЭС в конфликте с ЛСР $P(\vec{X}, \vec{Y}, \vec{g}_{cp})$, и эффективности ОЭС $I(\vec{X}, \vec{g}_{cp})$:

$$\begin{aligned} v_k = \text{Arg}_{v_k} \max P(\vec{X}, \vec{Y}, \vec{g}_{cp}) \\ I(\vec{X}, \vec{g}_{cp}) \geq I_{\text{треб}} \end{aligned} \quad (1)$$

где $I_{\text{треб}}$ – требуемая эффективность ОЭС.

Выигрыш ОЭС в конфликте с ЛСР связан с возможностями скрытого функционирования ОЭС в зоне обнаружения средства разведки. Эти возможности характеризует такой показатель, как разведдоступность ОЭС [3], который зависит как от свойств ОЭС, так и от свойств ЛСР. Последнее ведет разведку ОЭС путем последовательного просмотра пространства в заданном секторе обзора с помощью одного или нескольких датчиков. При этом могут быть реализованы одноэтапный, двухэтапный или комбинированный виды поиска [4], успешным финалом которого является обнаружение ОЭС.

Одноэтапный поиск ОЭС осуществляется лазерным локатором путем просмотра полем зрения заданной зоны. Просмотр проводится в определенной последовательности, задаваемой



законом сканирования, который циклически повторяется до того момента, пока не будет принято решение об обнаружении ОЭС.

При двухэтапном поиске комплекс разведки, состоящий из двух датчиков, обладающих разными полями зрения, осуществляет циклический просмотр сектора поиска в два этапа. После обнаружения носителя ОЭС на первом этапе широкопольным средством, узкопольное средство выполняет допоиск ОЭС. Решение о завершении поиска принимается при обнаружении ОЭС на втором этапе [4].

Комбинированный поиск проводится системами разведки, состоящими из трех и более средств, и осуществляется в два этапа [4]. На первом этапе поиск производится средствами разведки с широким полем зрения, а на втором этапе осуществляется поиск узкопольным средством. Решение об обнаружении цели может приниматься с логикой "ИЛИ", либо с логикой "И". Нами будет рассмотрен первый вариант, как наиболее распространенный на практике.

С использованием динамической модели конфликта оптико-электронное средство – лазерный комплекс функционального поражения, описанного в [2] были проведены исследования эффективности скрытия ОЭС от ЛСР для указанных видов поиска.

Вероятность выигрыша ОЭС P_O и время обнаружения ЛСР, отраженного от ОЭС сигнала для различных видов поиска определялись в соответствии с методикой, изложенной в [4]. В качестве показателя качества функционирования ОЭС принята информативность сформированного ОЭС изображения наблюдаемой сцены в битах, рассчитываемая по формуле [5]:

$$H = 0,67\pi \left(\frac{R}{\lambda} \beta \right)^2 \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_u} \right), \quad (2)$$

где R – радиус приемной апертуры ОЭС; λ – длина волны принимаемого ОЭС излучения; 2β – поле зрения оптической системы; P_c – мощность сигнала; P_u – мощность шума.

Для получения обозримых результатов примем, что за время нахождения ОЭС в зоне обнаружения ЛСР, конфликтующие стороны производят один цикл конфликтного взаимодействия.

Полученные в результате моделирования зависимости представлены на рисунках 1–4.

Из данных зависимостей следует очевидный вывод, что вероятность выигрыша ЛКФП в конфликте с ОЭС будет тем значительнее, чем больше информационных признаков используется противником при разведке. Это определяет необходимость комплексного решения задачи по повышению разведзащищенности ОЭС. Другими словами, одновременно с повышением скрытности работы ОЭС, необходимо повышать скрытность его носителя. Эта задача связана со снижением заметности объектов – носителей ОЭС. Применительно к радиолокационному и оптическому диапазону имеется значительный прогресс в ее решении [6]. Поэтому в данной работе мы остановимся на повышении скрытности функционирования самого ОЭС. Одним из подходов к этому может быть упреждающее обнаружение факта разведки ОЭС противником по рассеянному атмосферой излучению. Последнее позволяет установить факт разведки, определить направление на средство разведки и выбрать для ОЭС траекторию сканирования такой, чтобы она не пересекалась с траекторией сканирования ЛСР.

Для оценки эффективности этого способа проведены исследования зависимости вероятности выигрыша ОЭС в конфликте P_O и информативности изображения наблюдаемой сцены H от отношения площади приемной апертуры ОЭС к площади апертуры ЛСР S'_{an} . Исследования выполнялись при различных вероятностях правильного обнаружения, рассеянного атмосферой излучения ЛСР D . Величина D рассчитывалась по методике, изложенной в [7].

Полученные зависимости (рисунок 1) показывают, что с увеличением площади приемной апертуры ОЭС, уменьшается вероятность P_O (зависимости 1–6), что связано с увеличением мощности принимаемого ЛСР, отраженного от ОЭС сигнала.

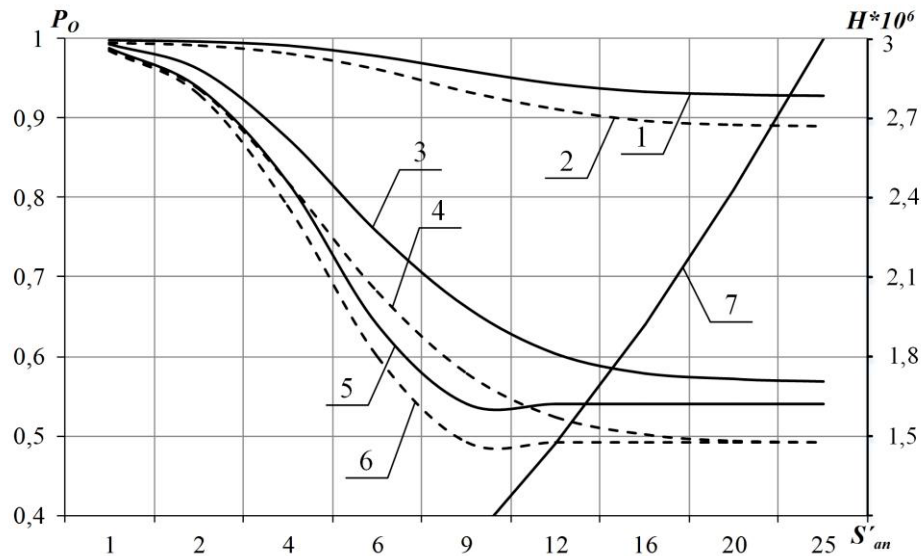


Рисунок 1 – Зависимости вероятности выигрыша ОЭС в конфликте и информативности формируемого ОЭС изображения от S'_{an} для: 1, 2 – одноэтапного поиска; 3, 4 – двухэтапного поиска; 5, 6 – комбинированного поиска; 1, 3, 5 – $D=0,6$; 2, 4, 6 – $D=0,5$; 7 – H

При этом с увеличением вероятности D , вероятность выигрыша ОЭС в конфликте с ЛКФП увеличивается (зависимости 1, 3, 5 по сравнению с 2, 4, 6 соответственно). Другими словами, повышение вероятности правильного обнаружения излучения ЛКФП повышает возможность обеспечения требуемой разведзащищенности ОЭС.

Таким образом, принимая во внимание, что с увеличением площади приемной апертуры ОЭС, вероятность его выигрыша в конфликте с ЛСР уменьшается, а эффективность работы ОЭС растет (рисунок 1, зависимость 7), можно определить величину S'_{an} , удовлетворяющую требованиям по информативности и разведзащищенности.

На рисунке 2 представлены зависимости вероятности выигрыша ОЭС P_O в конфликте с ЛКФП от коэффициента отражения приемника излучения ОЭС $K_{отр}$ для различных видов поиска.

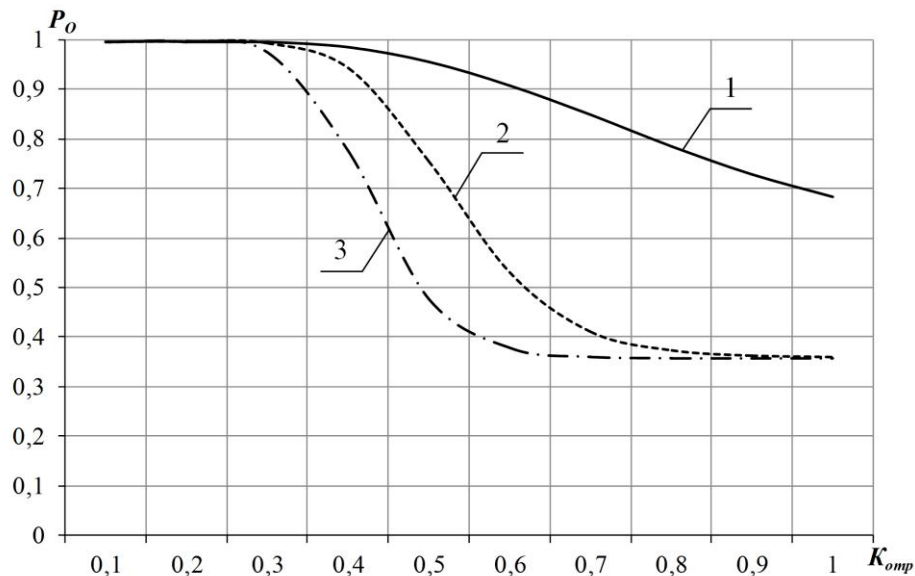


Рисунок 2 – Зависимости вероятности выигрыша ОЭС в конфликте от коэффициента отражения приемника ОЭС для: 1 – одноэтапного поиска; 2 – двухэтапного поиска; 3 – комбинированного поиска



Из приведённых зависимостей видно, что во всех случаях с увеличением коэффициента отражения K_{omp} приемника излучения вероятность P_O убывает. Это происходит вследствие увеличения заметности ОЭС из-за повышения отношения сигнал/шум на входе ЛСР. Поэтому очевидно, что для повышения разведзащищенности ОЭС в конфликте следует уменьшать отражающую поверхность приемника излучения.

На рисунке 3 представлены зависимости вероятности P_O от отношения площади приемника излучения ОЭС (отражающей излучение ЛСР площади) к площади апертуры ЛСР S'_{omp} для различных видов поиска.

Установлено, что увеличение S'_{omp} ведет к уменьшению вероятности выигрыша ОЭС в конфликте с ЛКФП. Это связано с повышением разведдоступности ОЭС вследствие повышения отношения сигнал/шум на входе подсистемы разведки ЛКФП [3].

На рисунке 4 представлены зависимости вероятности выигрыша ОЭС P_O в конфликте с ЛКФП и информативности изображения наблюдаемой ОЭС сцены от степени расфокусировки ОЭС l_f при различном радиусе приемной апертуры ОЭС R'_{an} для различных видов поиска (R'_{an} – отношение радиуса приемной апертуры ОЭС к его фокусному расстоянию).

Степень расфокусировки определялась выражением:

$$l_f = \frac{f-l}{f}, \quad (3)$$

где f – фокусное расстояние объектива ОЭС, рассчитанное при проектировании ОЭС; l – расстояние от фокусирующего устройства до плоскости наблюдения изображения ОЭС.

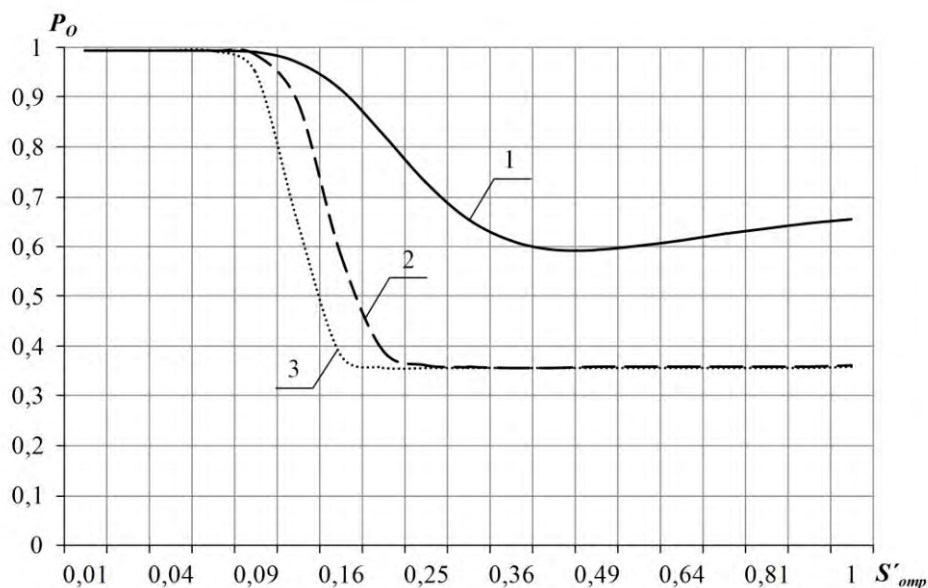


Рисунок 3 – Зависимости вероятности выигрыша ОЭС в конфликте от S'_{omp} для: 1 – одноэтапного поиска; 2 – двухэтапного поиска; 3 – комбинированного поиска

Установлено, что при увеличении степени расфокусировки ОЭС l_f , вероятность его выигрыша в конфликте возрастает. Причем, чем меньше радиус приемной апертуры ОЭС R'_{an} , тем выше вероятность выигрыша. Это связано со снижением заметности ОЭС вследствие уменьшения отношения сигнал/шум на входе ЛСР.

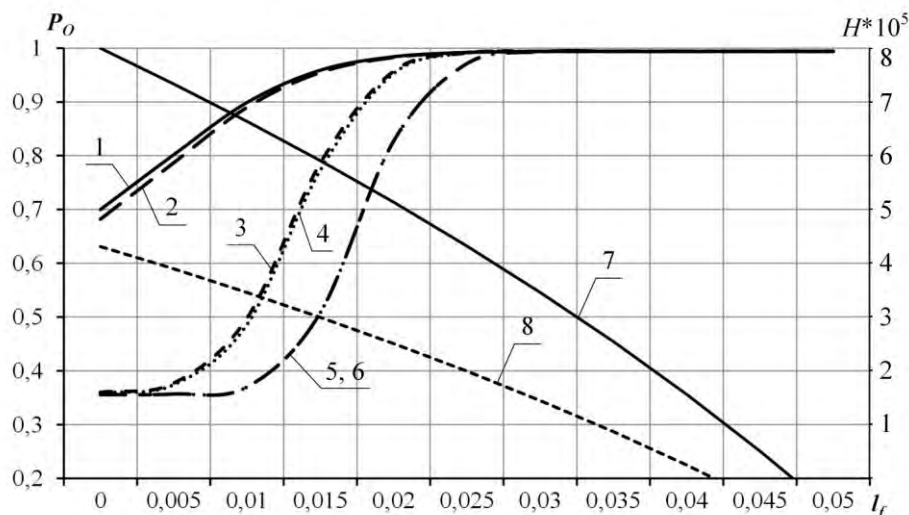


Рисунок 4 – Зависимости вероятности выигрыша ОЭС в конфликте и информативности формируемого ОЭС изображения от I_f для: 1, 2 – одноэтапного поиска; 3, 4 – двухэтапного поиска; 5, 6 – комбинированного поиска; 1, 3, 5 – $R'_{an}=0.5$; 2, 4, 6 – $R'_{an}=1$; 7, 8 – H ; 7 – $R'_{an}=0.5$; 8 – $R'_{an}=1$

Также из рисунка 4 видно уменьшение информативности изображения, при увеличении степени расфокусировки ОЭС (зависимости 7, 8). Физически это объясняется уменьшением количества элементов разрешения в кадре изображения наблюдаемой сцены.

Таким образом, учитывая, что с увеличением степени расфокусировки ОЭС, вероятность его выигрыша в конфликте с ЛСР возрастает, а информативность сформированного изображения наблюдаемой сцены снижается, можно определить величину I_f , удовлетворяющую требованиям по информативности изображения и разведзащищенности ОЭС.

Выводы. Разработан системный подход к обеспечению требуемой разведзащищенности ОЭС, заключающийся в определении параметров ОЭС, в максимальной степени снижающих эффективность средств разведки при обеспечении требуемой эффективности функционирования защищаемого объекта, позволяющий количественно оценить влияние изменения параметров ОЭС на его эффективность и скрытность работы. В результате анализа влияния основных параметров ОЭС на их информационные возможности и вероятность выигрыша в конфликте с ЛСР выявлены следующие закономерности: уменьшение площади приемной апертуры ОЭС и степени его расфокусировки ведет к повышению вероятности выигрыша ОЭС в информационном конфликте с ЛСР, но, при этом, информативность принимаемого сигнала уменьшается. Задаваясь требуемым значением информативности принимаемого сигнала, можно определить рациональное значение площади приемника ОЭС и степень его расфокусировки, обеспечивающие прием необходимой информации при минимальной разведдоступности ОЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. М.: Логос, 2012. 568 с.
2. Глушков А. Н., Дробышевский Н. В., Кулешов П. Е., Марченко А.В. Динамическая модель процесса защиты оптико-электронного средства от лазерного комплекса функционального поражения [Электронный ресурс] // Системы управления, связи и безопасности: журн. 2018. № 3. С. 136–149. Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/07-Glushkov.pdf> (дата обращения: 19.08.2018).
3. Глушков А.Н., Дробышевский Н.В., Кулешов П.Е., Алабовский А.В. Системный подход к оценке разведдоступности оптико-электронных средств // Радиотехника. 2017. № 9. С. 50–54.



4. Козирацкий Ю.Л., Донцов А.А., Иванцов А.В. и др. Модели пространственного и частотного поиска. Монография / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2014. 344 с.
5. Молодык А.В., Конопальцева Л.И. Информативность оптического изображения в оптико-электронных приборах // Оптико-механическая промышленность. 1976. № 8. С. 11–14.
6. Иванкин Е.Ф., Понькин В.А. Теоретические основы получения и защиты информации об объектах наблюдения. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 448 с.
7. Агафонов А. А., Артюх С. С., Афанасьев В. В. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. В. Г. Радзиевского. М.: Радиотехника, 2006. 424 с.

REFERENCES

1. Yakushenkov Yu.G. Teoriya i raschet optiko-`elektronnyh priborov. M.: Logos, 2012. 568 p.
2. Glushkov A. N., Drobyshevskij N. V., Kuleshov P. E., Marchenko A.V. Dinamicheskaya model' processa zaschity optiko-`elektronnoho sredstva ot lazernogo kompleksa funkcional'nogo porazheniya [`Elektronnyj resurs] // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti: zhurn. 2018. № 3. pp. 136-149. Rezhim dostupa: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/07-Glushkov.pdf> (data obrascheniya: 19.08.2018).
3. Glushkov A.N., Drobyshevskij N.V., Kuleshov P.E., Alabovskij A.V. Sistemnyj podhod k ocenke razveddostupnosti optiko-`elektronnyh sredstv // Radiotekhnika. 2017. № 9. pp. 50–54.
4. Kozirackij Yu.L., Doncov A.A., Ivancov A.V. i dr. Modeli prostranstvennogo i chastotnogo poiska. Monografiya / Pod red. Yu.L. Kozirackogo. M.: Radiotekhnika, 2014. 344 p.
5. Molodyk A.V., Konopal'ceva L.I. Informativnost' opticheskogo izobrazheniya v optiko-`elektronnyh priborah // Optiko-mehaničeskaya promyshlennost'. 1976. № 8. pp. 11–14.
6. Ivankin E.F., Pon'kin V.A. Teoreticheskie osnovy polucheniya i zaschity informacii ob ob`ektah nablyudeniya. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2008. 448 p.
7. Agafonov A. A., Artyuh S. S., Afanas'ev V. V. i dr. Sovremennaya radio`elektronnaya bor'ba. Voprosy metodologii / Pod red. V. G. Radzievskogo. M.: Radiotekhnika, 2006. 424 p.

© Глушков А.Н., Кулешов П.Е., Дробышевский Н.В., 2018

Глушков Александр Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник 13 отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, glan57.glushkov@yandex.ru.

Кулешов Павел Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, начальник 13 отдела научно-исследовательского научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, pekulesh@yandex.ru.

Дробышевский Николай Васильевич, адъюнкт научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, d_n.v@mail.ru.