

Модель оценки разведзащищенности группы беспилотных летательных аппаратов военного назначения от комплексов радио- и радиотехнической разведки противника

Ф.И. Пшеничный, И.Д. Королёв

Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С.М. Штеменко, Краснодар

Аннотация: В статье рассматривается вероятностно-временная модель оценки разведзащищенности группы беспилотных летательных аппаратов военного назначения от стоящих на вооружении армии США комплексов радио- и радиотехнической разведки противника, приведены аналитические выражения и последовательность расчета с примерами.

Ключевые слова: разведзащищенность, группа беспилотных летательных аппаратов, вероятность временного контакта, вероятность энергетического обнаружения, скрытность, отношение сигнал/шум, зона обзорной разведки, зона детальной разведки, комплекс радио- и радиотехнической разведки, дальность обнаружения.

Применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами военного назначения (БЛА ВН) в составе группы будет сопряжено с организованным противодействием со стороны комплексов радиоэлектронной борьбы противника. Комплексы радио- и радиотехнической разведки (РРТР) могут осуществлять разведку круглосуточно, а общее время автономной работы - 72 часа [1].

Для проведения анализа разведзащищенности группы БЛА ВН, рассмотрим следующие оперативно-тактические особенности: для передачи командно-телеметрических данных используются радиосигналы со скоростью передачи не более 56 Кбит/с [2]; источники радиоэлектронных сигналов (РЭС) группы БЛА ВН используют выходную мощность от 0,5 до 5 Вт; антенны с круговой диаграммой направленности (КНД) в горизонтальной плоскости 360° и вертикальной плоскости 90° .

Далее будем рассматривать централизованную организацию управления в группе БЛА ВН, построенную через БЛА «Лидер». При таком построении ведение информационного обмена осуществляется между

наземной станцией управления (НСУ) и БЛА «Лидером», а тот в свою очередь осуществляет взаимодействие с «ведомыми» БЛА.

Разведзащищенность функционирования группы БЛА ВН может быть оценена с помощью частных и обобщенных показателей.

К частным показателям относятся: вероятность энергетического обнаружения БЛА ВН комплексом РРТР, при заданной вероятности ложной тревоги - $\rho_{зо}^{РЭС}$; вероятность временного контакта комплекса РРТР и источника РЭС БЛА ВН - $\rho_{врк}^{РЭС}$; отношение сигнал/шум ($q_{обн.}$) на входе комплекса РРТР; время обнаружения одного источника РЭС БЛА ВН - $t_{обн.}^{РЭС}$.

Обобщенными показателями будут выступать: вероятность вскрытия группы БЛА ВН - $\rho_{вскр.}^{гп.БЛА}$ (вероятность вскрытия всех источников РЭС группы БЛА ВН за время проведения разведки); максимальная дальность зоны обзорной разведки (ЗОР) сигналов источников РЭС при заданном отношении сигнал/шум (ОСШ) ($D_{ОР}^{max}$); максимальная дальность зоны детальной разведки (ЗДР) радиосигналов источников РЭС при заданном ОСШ ($D_{ДР}^{max}$).

Существует большое количество математических моделей предназначенных для оценки разведзащищенности пакетной передачи информации в комплексах и системах связи различного назначения [3-5].

Исходя из проведенного анализа, наиболее близкая к специфике функционирования группы БЛА ВН, оценка разведзащищенности отработана в работе [5] с учетом наработок [6].

Коэффициент разведзащищенности $K_{рз}^{РРТР}$ от ведения разведки комплексами РРТР определяется по формуле [7]:

$$K_{рз}^{РРТР} = 1 - \rho_{обн.}^{РРТР} \cdot \rho_{оц.}^{РРТР} \quad (1)$$

Вероятность обнаружения $\rho_{обн.}^{РРТР}$ или вероятность энерго-временного контакта (ЭВК) $\rho_{эвк}$ будет определяться $\rho_{эвк} = \rho_{зо} \cdot \rho_{врк}$.

Вероятность энергетического обнаружения сигнала от одного источника РЭС БЛА ВН, зависящего от показателя ОСШ на входе приемника комплекса РРТР, при фиксированной вероятности ложной тревоги - $\rho_{лт} = 10^{-3}$:

$$\rho_{эо} = (\rho_{лт})^{\frac{1}{1+q^2/2}} \quad (2)$$

График отношения $\rho_{лт}$ к значению ОСШ для значений $\rho_{эо}$ от 0,8...1 представлен на рис. 1.

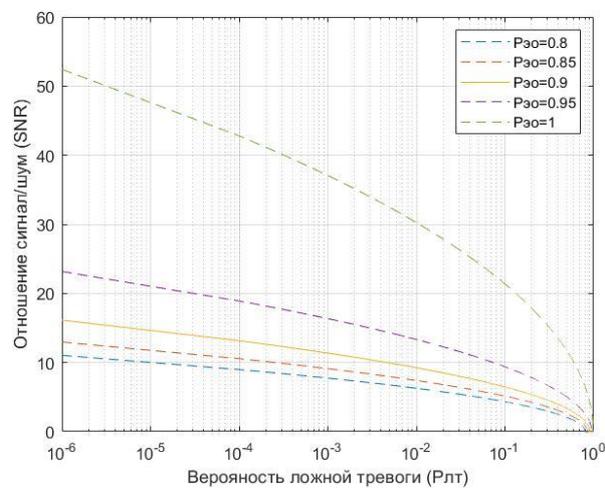


Рис. 1 Графики отношения значений $\rho_{лт}$ к значению ОСШ для различных значений $\rho_{эо}$.

В соответствии с [8] для нахождения значения ОСШ цифровых систем связи (q):

$$q = \frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{сигн.}}{N} \left(\frac{\Delta F}{R_b} \right) \quad (3)$$

где:

E_b - энергия бита;

N_0 - спектральная плотность мощности шума;

$P_{сигн.}$ - мощность сигнала в точке приема;

N - мощность шума;

ΔF - ширина полосы частот;

R_b - скорость передачи битов.

В качестве требуемых значений в задачах обнаружения, принимают значение вероятности ложной тревоги $P_{лт} = 10^{-3} - 10^{-6}$ при фиксированном значении $P_{до} = 0,9$, что будет соответствовать q^2 в интервале от 11 до 16 Дб.

Вероятность временного контакта БЛА ВН с комплексом РРТР предлагается рассчитывать по формуле:

$$\rho_{врк} = 1 - \left(1 - \frac{\bar{t}_{функ.}}{T_{общ.}} \right)^{\frac{T_n}{t_{обн.}^{РЭС}}} \quad (4)$$

где:

$\bar{t}_{функ.}$ - среднее время работы линии связи;

$T_{общ.}$ - общее время нахождения БЛА ВН в зоне действия комплекса РРТР;

T_n - время ведения разведки комплексом РРТР;

$t_{обн.}^{РЭС}$ - время обнаружения одного источника РЭС БЛА ВН.

Среднее время функционирования $\bar{t}_{функ.}$ в радиосети вычисляют по следующей формуле [6]:

$$\bar{t}_{функ.} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K t_{функ_i}, i = 1 \dots K \quad (5)$$

где:

$t_{функ_i}$ - время работы на излуч. ист. РЭС БЛА ВН в ходе i -го сеанса связи;

K - количество сеансов связи за время $T_{общ.}$;

Вероятность временного контакта при излучении одного источника РЭС БЛА ВН при одновременной работе всех участников группы:

$$\rho_{врк}^{(1РЭС)} = m \rho_{врк} \exp((m-1) \ln(1 - \rho_{врк})) \quad (6)$$

где:

m - количество источников РЭС группы БЛА ВН

Исходя из вышеизложенного вероятность ЭВК с излучением только одного источника РЭС при одновременной работе всех источников РЭС, примет вид [5]:

$$\rho_{\text{эвк}}^{(1\text{РЭС})} = \rho_{\text{зо}} \cdot \rho_{\text{врк}}^{(1\text{РЭС})} \quad (7)$$

Полученные в (7) значения позволяют перейти к расчету времени необходимого для обнаружения излучения одного источника РЭС из состава группы, при установлении требуемого значения вероятности ЭВК [5]:

$$t_{\text{обн}}^{\wedge\text{РЭС}} = \frac{t_{\text{обн}}^{\text{РЭС}} \ln(1 - \rho_{\text{эвк}}^{\text{мп}})}{\ln(1 - \rho_{\text{эвк}}^{(1\text{РЭС})})} \Big|_{\rho_{\text{эвк}}^{\text{мп}}=0,9} \quad (8)$$

Вероятность вскрытия системы информационного обмена в группе БЛА ВН при нахождении за линией боевого соприкосновения [5]:

$$\rho_{\text{вскр.БЛА}}^{\text{р.БЛА}} = 1 - \Phi \left[\frac{m - \rho_{\text{эвк}}^{(1\text{РЭС})} \frac{T_{\text{общ.}}}{t_{\text{ан(1)}}}}{\sqrt{\frac{(1 - \rho_{\text{эвк}}^{(1\text{РЭС})}) \rho_{\text{эвк}}^{(1\text{РЭС})} T_{\text{общ.}}}{t_{\text{ан(1)}}}}} \right] \quad (9)$$

где:

$t_{\text{ан(1)}}$ - время, необходимое для однократного прохода диапазона частот;

$\Phi(x)$ - функция интеграла вероятности.

График зависимости значения вероятности вскрытия за время ведения разведки комплексами РРТР, согласно (9) представлен на рис. 2.

В [2,9] предложена формула расчета дальности обнаружения (разведки) $D_{\text{разв.}}$ радиосигналов источников РЭС группы БЛА ВН при заданном ОСШ:

$$D_{\text{разв.}} \approx \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{сигн.}}^{\text{эвк.}}}{P_{\text{РРТР}}^{\text{эвк.}} q^2} \xi_n \xi_c} \quad (10)$$

где:

λ - длина волны (м);

- $P_{\text{сигн.}}^{\text{экв.}} = P_{\text{сигн.}} G_{\text{ПРД}}$ - эквивалентная мощность источника РЭС (Вт);
- $P_{\text{сигн.}}$ - мощность передатчика источника РЭС сигнала;
- $G_{\text{ПРД}}$ - КНД антенны ист. РЭС на антенну комплекса РРТР;
- $P_{\text{РРТР}}^{\text{экв.}} = P_{\text{чувс.}}^{\text{РРТР}} / G_{\text{ПРМ}}^{\text{РРТР}}$ - эквивалентная чувств. приемника комплекса РРТР;
- $P_{\text{чувс.}}^{\text{РРТР}}$ - предельная чувств. приемника комплекса РРТР (Вт);
- $G_{\text{ПРМ}}^{\text{РРТР}}$ - КНД антенны РРТР на передатчик источника РЭС;
- q^2 - ОСШ на входе РРТР, при заданных $\rho_{\text{ЛГ}}$ и $\rho_{\text{зо}}$;
- ξ_n - коэффициент согласования антенны по поляризации;
- ξ_c - коэффициент согласования фидера комплекса РРТР.

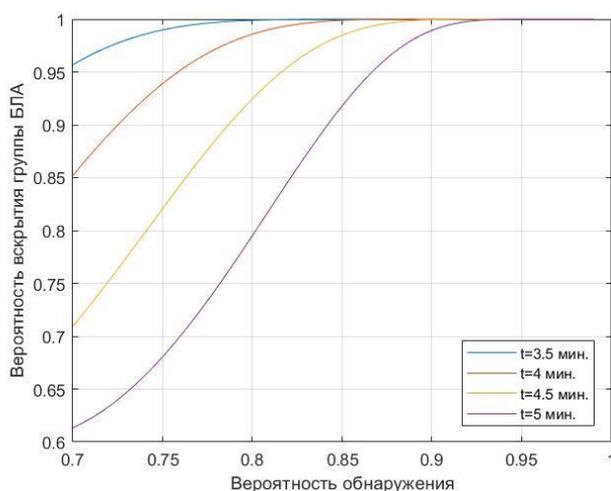


Рис. 2 Графики зависимости вероятности вскрытия группы БЛА ВН, от вероятности ЭВК при различных значениях времени необходимого на обнаружение и анализ радиосигналов комплексом РРТР.

Формула (11) позволяет определить зоны разведки, так при любом превышении уровня сигнала над уровнем шума $q^2 > 0$, будет осуществляться обнаружение сигналов и полученное численное значение будет определять ЗОР комплексов РРТР $D_{\text{обзор.}}^{\text{РРТР}}$. Обнаружение радиосигналов и дальнейшее распознавание возможно только при значении q^2 удовлетворяющее условиям

$P_{ЛГ} = 10^{-3} - 10^{-6}$ и значения $P_{зо} = 0,9$ и определяет ЗДР комплексов РРТР $D_{детал.}^{РРТР}$ (см. на рис. 3).

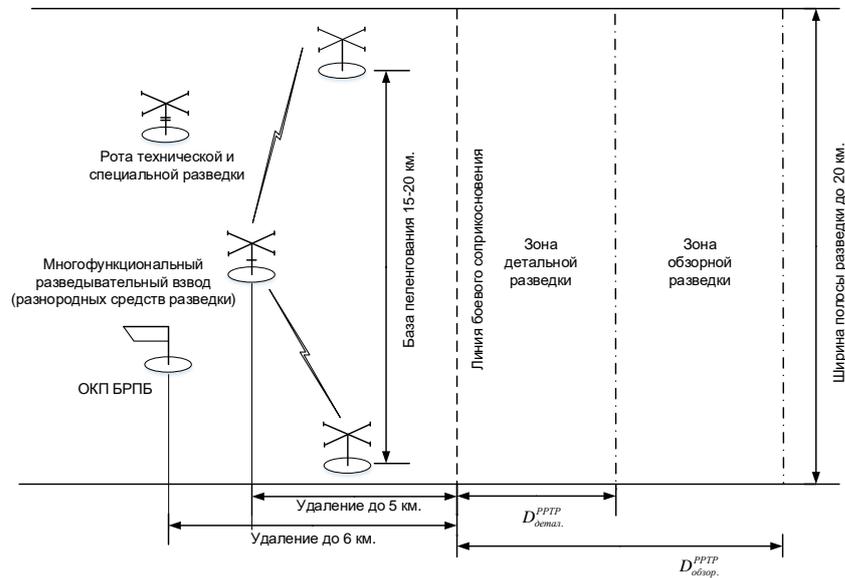


Рис. 3 ЗОР и ЗДР, на примере боевого порядка разведывзвода роты технической и специальной разведки бригады США.

Формула расчета максимальной дальности действия комплексов РРТР, учитывающая полосу частот обзора:

$$D_{разв.}^{max} = \frac{\lambda^{[м]}}{2(4\pi)} \sqrt{\frac{P_{сигн.}^{[Вт]} \cdot 10^{\frac{G_{ПРД}^{[дБ]} + G_{ПРМ}^{[дБ]}}{10}}}{q\alpha_{П}\Delta f_{пр.}^{[Гц]} N_0^{[Вт/Гц]}}} \quad (12)$$

где:

$\alpha_{П}$ - коэффициент потерь в ОСШ в тракте приемника разведки;

$\Delta f_{пр.}$ - полоса пропускания приемника разведки.

Подставляя в (12) показатели комплекса AN/MLQ-44A(V)1,2 «Prophet Enhanced» [1, 10] и применяя следующие допущения: $\alpha_{П} = 2$; $N_0 = 10^{-15}$ Вт/Гц; $G_{ПРД} = 0$ дБи, $G_{ПРМ} = 21$ дБи (см. рис. 4).

Анализ графиков показывает, что увеличение рабочей частоты и снижение мощности передатчика уменьшает дальность обнаружения, при

этом если ведение разведки производится без априорных сведений, комплекс РРТР будет осуществлять разведку в полосе не менее 5 МГц.

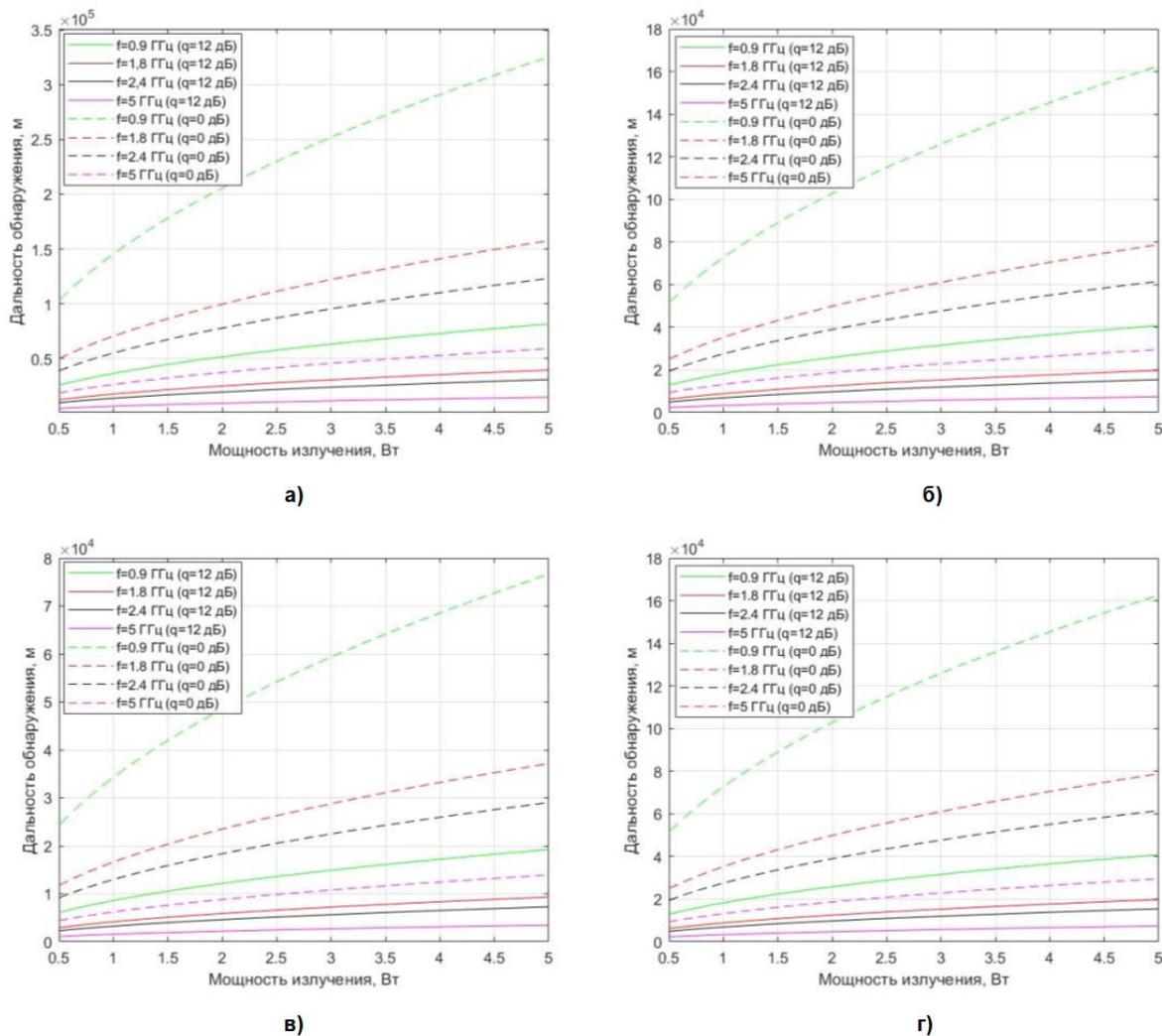


Рис. 4. Графики зависимости дальности обнаружения от мощности излучения для различных рабочих частот, в полосе частот: а) $\Delta f_{np.} = 0,05 МГц$, б) $\Delta f_{np.} = 0,2 МГц$, в) $\Delta f_{np.} = 0,9 МГц$, г) $\Delta f_{np.} = 5 МГц$

Разность $\Delta D_{разв.} = D_{OP}^{max} - D_{ДР}^{max}$ определяет расстояние в котором противник имеет возможность осуществлять прием и накопление радиосигналов, но не может преступить к проведению технического анализа.

В качестве примера рассмотрим радиомодемы АС-КАМ (г. Ростов-на-Дону) или НПП «ГеоСервис». Диапазон рабочих частот $\Delta f_{раб.} = 3,458 - 3,592 ГГц$ (134 МГц), максимальная излучаемая мощность

$P_{\text{сигн.}} = 0,5 \text{ Вт}$, коэффициент усиления $G_{\text{ПРД}} = 1,5 \text{ дБ}$. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет разности дальности обзорной и детальной разведок

№ п/п	Полоса обзора $\Delta f_{\text{пр.}}$, МГц	ЗОР $D_{\text{ОР}}^{\text{max}}$, м	ЗДР $D_{\text{ДР}}^{\text{max}}$, м	$\Delta D_{\text{разв.}}$, м
1	0,05	102815	18283	84532
2	2	51408	9141,7	42266
3	0,9	24234	4309,5	19925
4	5	10282	1828,3	8454

Заключение. Оценка разведзащищенности через показатели $D_{\text{ОР}}^{\text{max}}$ и $D_{\text{ДР}}^{\text{max}}$, а также показатель их разности $\Delta D_{\text{разв.}}$, показывает необходимость применения большого диапазона частот, чтобы вынудить противника к ведению разведки в полосе частот не менее 5 МГц.

Увеличение времени необходимого комплексу РРТР на проведение полного цикла разведки, возможно за счет автоподстройкой излучаемой мощности, что позволит снизить ОСШ на входе приемников разведки.

Литература

1. Николаев А.Е., Копичев О.А., Галов С.Ю. Анализ разведывательных возможностей формирований ТЗУ сухопутных войск США. Вестник академии военных наук. 2019. № 1 (66). С. 162-171.
2. Боговик В.А., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки: учебник // СПб. : ВАС, 2006. 183 с.
3. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Попов С.А. Бортовые РЭС . Основы построения. Воронеж: ИПЦ «Научная книга». 2021. 486 с.
4. Комашинский В.И., Максимов А.В., Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации. Основы моделирования // М. : Горячая линия Телеком, 2007. 176 с.

5. Шлаев Д.В., Будко П.А., Будко Н.П. Разведзащищенность функционирования пакетной радиосети УКВ диапазона // Инфокоммуникационные технологии. 2008. том 6. № 1. С. 107-109.

6. Муравьев И.В., Перцев Л.В., Исаенков Н.С. Обзор методов адаптивного использования спектра // Инженерный вестник Дона. 2011. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/468.

7. Сызранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных ОТС военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах. СПб.: ВАС, 2007. 180 с.

8. Скляр Бернанд, Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: учебник изд. 2-е, испр. пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

9. Гуляев В.П. Анализ демаскирующих признаков объектов информатизации и ТКУИ // Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2014. 164 с.

10. Манжула В.Г., Крутччинский С.Г., Савенко А.В., Воронин В.В. Интерферометрический интерфейс системы определения относительных координат радиоизлучающих объектов // Инженерный вестник Дона, 2012. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1027.

Referense

1. Nikolayev A.E., Kopichev O.A., Galov S.YU. Vestnik akademii voyennykh nauk. 2019. № 1 (66). pp. 162-171.

2. Bogovik V.A., Ignatov V.V., Effektivnost' sistem voyennoy svyazi i metody yeye otsenki [Effectiveness of military communication systems and methods of its evaluation]. SPb.: VAS, 2006. 183 p.

3. Len'shin A.V., Tikhomirov N.M., Popov S.A., Bortovyue radioelektronnyye sistemy. Osnovy postroyeniya [On - board electronic systems . Basics of construction]. Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr «Nauchnaya kniga». 2021. 486 p.



4. Komashinskiy V.I., Maksimov A.V., Sistemy podvizhnoy radiosvyazi s paketnoy peredachey informatsii. Osnovy modelirovaniya [Mobile radio communication systems with packet transmission of information. Basics of modeling]. M.: Goryachaya liniya Telekom, 2007. 176 p.
5. Shlayev D.V., Budko P.A., Budko N.P. 2008. tom 6. № 1. pp. 107-109.
6. Murav'yev I. V., Pertsev L. V., Isayenkov N. S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/468.
7. Syzrantsev G.V., Teoreticheskiye i nauchno-metodicheskiye osnovy obespecheniya postroyeniya slozhnykh OTS voyennoy svyazi v lokal'nykh voynakh i vooruzhennykh konfliktakh [Theoretical and scientific-methodological foundations for ensuring the construction of complex organizational and technical systems of military communications in local wars and armed conflicts]. SPb.: VAS. 2007. 180 p.
8. Sklyar Bernard, Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskiye osnovy i prakticheskoye primeneniye [Digital communication. Theoretical foundations and practical application]. M.: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2003. 1104 p.
9. Gulyayev V.P. Analiz demaskiruyushchikh priznakov ob'yektov informatizatsii i TKUI [Analysis of unmasking features of informatization objects and technical channels of information leakage]. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. 2014. 164 p.
10. Manzhula V.G., Krutchinskiy S.G., Savenko A.V., Voronin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012. № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1027.