

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАЕМОСТЬ ИХ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

УДК 358.111.6

С. Н. Касанин, А. В. Кашкаров, А. А. Родионов*

Распознавание оперативно-тактической принадлежности систем и узлов связи пунктов управления тактического звена управления (ПУ ТЗУ) системой разведки и радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противника может основываться на семантическом, структурном и статистическом методах обработки разведывательной информации. В статье предлагается модель для расчета и оценки влияния состава радиоэлектронных средств (РЭС) на узлах связи ПУ ТЗУ на распознаваемость их оперативно-тактической принадлежности с учетом современных требований к управлению войсками.

Recognition of the theatre-of-war property of communication centers of tactical units of management control points (TUM CP) by enemy intelligence service and radio-electronic warfare (EW) can be based on semantic, structural and statistical methods of intelligence data processing. The article offers a model for calculating and valuating the influence of composition of radio-electronic facilities (REF) in TUM CP on the recognition of their theatre-of-war property in the light of the modern requirements of troops command.

Анализ управления войсками в вооруженных конфликтах последнего десятилетия [1, 2] показывает, что реальные сложные системы связи ПУ ТЗУ можно исследовать с помощью аналитических (точных) и имитационных (приближенных) математических моделей. Наиболее полное исследование удастся провести в том случае, когда получены явные зависимости, связывающие искомые величины с параметрами системы связи и начальными условиями ее изучения.

Известные методы анализа надежности (устойчивости) сложно-разветвленных систем с конечной живучестью составляющих их элементов [2–7], по своей сути, сводятся к преобразованию и объединению простых цепей. Практическое применение того или иного метода определяется постановкой задачи, степенью точности исходных вероятностей исправности элементов, размерностью оцениваемой системы связи и имеющимся парком вычислительной техники и средств связи. Так, семантический метод распознавания базируется на обработке перехваченных открытых (дешифрованных) переговоров по каналам радиоэлектронных средств и напрямую зависит от интеллектуальных возможностей оператора поста радиоперехвата. Структурный метод распознавания используется в основном для вскрытия оперативно-тактической принадлежности систем военной связи и узлов связи пунктов управления (УС ПУ). В данном методе распознавание основывается на анализе числа, характера связей и динамики их изменения во времени между большим количеством объектов разведки. Статистический метод распознавания основывается на математической статистике, теории вероятностей и теории распознавания образов. Данный метод использует вероятностно-статистическое представление разведывательной информации, оперирует с разведывательными признаками объектов разведки и их эталонными описаниями в пространстве признаков. При распознавании оперативно-тактической принадлежности элементов систем связи ПУ ТЗУ наиболее целесообразен статистический метод, основанный на алгоритмах вычисления оценок. Из-за введения априорной степени информированности системы разведки (субъективная оценка) алгоритмы статистических решений и логико-структурные алгоритмы распознавания оперативно-тактической принадлежности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ не гарантируют достоверной оценки.

Из известных алгоритмов вычисления оценок [2–7] в работе сделан выбор математического аппарата таксономического анализа [3, 9]. Для распознавания элементов

систем и узлов связи ПУ ТЗУ он имеет наиболее корректное математическое обоснование и не требует введения субъективных оценок степени обученности (информированности) как комплексов разведки, так и системы разведки в целом. Математический аппарат таксономического анализа позволяет учесть возможности всех технических средств разведки (ТСР) по выявлению разведывательных признаков элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ и основан на использовании механизма сопоставления распознаваемых объектов с их эталонными изображениями (наборами признаков). Определение меры сходства распознаваемого объекта с эталоном возможно как по совокупности разведывательных признаков, так и при случайных наборах признаков, вскрытых системой разведки противника. При определении меры сходства объектов учитываются не только факты совпадения или несовпадения признаков, но и весовые коэффициенты информативности как отдельных признаков, так и их совокупности, а также статистические связи между признаками. Множество элементов узлов связи и элементов системы связи $N = \{N_j\} (j = 1, \bar{m})$, обладающих совокупностью признаков (свойств) $E = \{E_i\} (i = 1, \bar{n})$, представляется в виде матрицы качественного описания. Объект $N_j \in N$ может обладать или не обладать некоторыми разведывательными признаками $E_i \in E$. В этом случае факт наличия или отсутствия признака E_i объекта N_j можно представить числом x_{ij} множества $\{0, 1\}$, т. е. $x_{ij} = 1$, если E_i признак имеется у N_j объекта; $x_{ij} = 0$, если признак E_i отсутствует у N_j объекта.

При данном качественном описании имеется возможность представить все элементы системы ПУ ТЗУ в пространстве разведывательных признаков. В матрицу качественного описания включаются элементы всех узлов связи, которые находятся в зоне ответственности системы разведки противника. Введением вектора-столбца $A = \{A_k\} (k = 1, \bar{v})$ имеется возможность сократить число строк матрицы свойств и признаков на $m - v$ строк за счет объединения объектов с одинаковыми наборами разведывательных признаков. Элементы вектора-столбца a_k множества $\{1, \bar{m}\}$ показывают количество элементов систем связи ПУ ТЗУ в зоне ответственности системы разведки противника, которые обладают одинаковым набором признаков [3, 9].

Информативность разведывательных признаков вычисляется посредством обработки столбцов матрицы свойств и признаков систем связи ПУ ТЗУ по следующим формулам:

$$K_{li} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j x_{ij}}; \quad (1)$$

$$K'_{li} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j}. \quad (2)$$

Пределы изменения K_{li} лежат от 0 до $N - 1$, а K'_{li} – от 0 до $\frac{N - 1}{N}$ (или близко к 1 при $N \rightarrow \infty$).

В теории таксономического анализа производится учет не только факта наличия, но и факта отсутствия определенного признака у объекта. Информативность отсутствия определенного признака определяется выражением

$$K_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}; \quad (3)$$

$$K'_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j}. \quad (4)$$

Для определения статистической взаимной связи между разведывательными признаками используется коэффициент регрессии, так как по сравнению с коэффициентом корреляции он обладает направленными свойствами. Коэффициент регрессии определяется из [8, 9]:

$$\rho_{AB} = \frac{P(AB) - P(A)P(B)}{P(A)P(\bar{A})}; \quad (5)$$

$$\rho_{BA} = \frac{P(AB) - P(A)P(B)}{P(B)P(\bar{B})}. \quad (6)$$

где $P(AB)$ – вероятность (частота) одновременного проявления признаков A и B у объектов;

$P(A)$ – частота проявления признака A у объектов;

$P(B)$ – частота проявления признака B у объектов;

$P(\bar{A}), P(\bar{B})$ – частота не проявления признака A (B).

С учетом статистической взаимной связи между признаками коэффициенты информативности разведывательных признаков элементов узлов связи из [4, 9] определяются

$$V_{li} = K_{li} \left[1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{il} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] \text{sign} \left[1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{il} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right]; \quad (7)$$

$$V'_{li} = K'_{li} \left[1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{il} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] \text{sign} \left[1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{il} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right], \quad (8)$$

где $\text{sign} \left[1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{il} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] = \begin{cases} 1, & \text{если} [] \geq 0 \\ 0, & \text{если} [] \leq 0 \end{cases}$.

При сравнении объектов N_j и N_m по совокупности разведывательных признаков могут возникнуть варианты ситуаций, представленные в таблице 1.

Таблица 1. – Варианты ситуаций по совокупности разведывательных признаков

Номер элемента	Ситуации			
	1	2	3	4
N_j	1	0	1	0
N_m	1	1	0	0

Весовые коэффициенты ситуаций 1–4 определяются [8]:

$$W_{11} = \frac{N - X_1}{X_1}; W_{00} = \frac{N - X_0}{X_0}; W_{10} = W_{01} = -1. \quad (9)$$

Отметим, что каждому варианту ситуаций 1 и 4 (см. формулу 9), при проведении операции сравнения присваивается вес W_{11} и W_{00} соответственно, который обратно пропорционален частоте проявления разведывательных признаков [6]. При несовпадении (2 и 3 ситуации) весовые коэффициенты равны -1 .

При попарном сравнении элементов ПУ ТЗУ по конечной совокупности разведывательных признаков может быть получен ряд значений весовых коэффициентов. Согласно [8, 9] в качестве меры сходства сравниваемых объектов принимается средний вес:

$$K_{cx} = K_{im} = \frac{1}{n_{\text{ППР}}} \left[\sum_{i=1}^{l_1} W_{11}(i) + \sum_{z=1}^{l_2} W_{00}(z) + \sum_{j=1}^{l_3} W_{0,1+1,0}(j) \right], \quad (10)$$

где $n_{\text{ППР}}$ – количество разведывательных признаков, которые выделяются для сравнения;

l_1 – число совпадений «1» у сравниваемых строк матрицы;

l_2 – число совпадений «0»;

l_3 – число несовпадений признаков (ситуации 2 и 3).

Так как $W_{01} = W_{10} = -1$, выражение (13) может быть преобразовано к виду

$$K_{cx} = \frac{N}{n_{\text{ППР}}} \left[\sum_{j=1}^{l_1} \frac{1}{K_{11(j)}} + \sum_{k=1}^{l_2} \frac{1}{K_{00(k)}} \right] - 1, \quad (11)$$

где $n_{\text{ППР}} = l_1 + l_2$.

Значения K_{cx} образуют квадратную матрицу $M = \|K_{cx}\|$. Согласно [8] элементы матрицы M обладают следующими свойствами:

$$\sum_{m=1}^{N-1} K_{cx,i,m} + K_{cx,i,i} = 0; \quad \sum_{i=1}^N K_{i,i} = N; \quad \bar{K}_{cx} = 0. \quad (12)$$

Среднеквадратическое отклонение коэффициентов сходства можно определить [8]:

$$\sigma_{K_{cx}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N (K_{cx,m,n} - \bar{K}_{cx})^2}{N^2}}. \quad (13)$$

С учетом статистических взаимных связей между разведывательными признаками (5 и 6) выражение (10) преобразуется к виду

$$K_{cxi} = \frac{N}{n_{\text{ППР}}} \left[\sum_{j=1}^{l_1} \frac{1}{V_{11(j)}} + \sum_{k=1}^{l_2} \frac{1}{K_{00(k)}} \right] - 1. \quad (14)$$

Исследования [1–3] показали, что вероятность сходства объектов с их эталонами является функцией коэффициентов сходства, т. е.

$$P(x_i \in X_i) = F(K_{cx,i}). \quad (15)$$

При большом количестве объектов и широком признаковом пространстве функция плотности распределения коэффициентов сходства приближается к функции плотности распределения вероятности сходства сравниваемых объектов. Анализ плотности распределения коэффициентов сходства показал, что она наиболее полно приближается к нормальному закону распределения. Как показывают исследования [5–7]:

$$P_{\text{расп.отп.эл.ус}}(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y e^{-\frac{Y^2}{2}} dy, \quad (16)$$

где $Y = \frac{K_{cx} - M}{\sigma_{kcx}}$.

Значение порога M математически строго обосновано в [8, 9]. При $K_{cx} = M = 0,95 \div 0,97$ и большой выборке признаков объекта вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности объекта равна 0,5 [4].

Для проведения исследования разведзащищенности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ разработан типовой набор разведывательных признаков. В классификатор оперативно-тактических разведывательных признаков систем и узлов связи ПУ ТЗУ включены шесть групп признаков:

работы излучающих РЭС каналообразования первичной сети связи (средства радио-, радиорелейной, тропосферной и космической связи) на элементах систем и узлов связи ПУ ТЗУ (Гр. А);

работы аппаратуры вторичных сетей связи на каналах излучающих средств узлов связи ПУ ТЗУ (Гр. Б);

аппаратуры уплотнения ВЧ стволов (Гр. С);

удаления элементов узлов связи ПУ ТЗУ от линии соприкосновения войск (Гр. Д);

местоположения элементов систем связи ТЗУ (Гр. Е);

местоположения основных корреспондентов узлов связи ПУ ТЗУ (гр. Ж).

Результаты расчета вероятности распознавания оперативно-тактической принадлежности узлов связи ПУ ТЗУ системой разведки противника по полной совокупности разведывательных признаков на 2020 г. техническими средствами разведки представлены в таблице 2.

Результаты расчета показывают, что предложенные варианты организационно-технического построения планируемых элементов систем и узлов связи ПУ бригады и батальона на поле боя однозначно распознаются системой разведки противника. Излучающие штатные и приданные РЭС УС ПУ ТЗУ распознаются по всей совокупности излучающих элементов УС и узлов связи в системе связи тактической зоны. Введение ограничений в работе РЭС на излучение, удаление основных каналообразующих КВ-УКВ РЭС средней мощности на 0,5 км за пределы пункта управления не решает проблемы повышения разведзащищенности пунктов управления от технических средств разведки ($P_{\text{расп}} \approx 1$). По совокупности маломощных КВ и УКВ радиосредств командно-штабных машин узлов связи ПУ бригады и батальонов однозначно распознаются на поле боя комплексами радиоразведки (РР) противника. Полученные данные РР не позволяют противнику принять решение на применение средств поражения по УС ПУ ТЗУ, но существенно сужают область проведения разведки другими средствами (РЛР, РТР, фоторазведка, телевизионная) [3, 4, 6].

Следовательно, в данной ситуации возникает необходимость создания таких групп (центров) каналообразования, которые были бы потенциально (по полной совокупности признаков технического оснащения) нераспознаваемыми ($P_{\text{расп.отп}} \leq 0,5$) при комплексном

использовании средств радио-, радиорелейной и спутниковой связи на основных информационных направлениях в тактическом звене управления [1, 2, 11].

Таблица 2. – Результаты расчета вероятности распознавания оперативно-тактической принадлежности узлов связи ПУ ТЗУ

Номер альтернативы	Содержание альтернативы (количество радиоизлучений)								Вероятность распознавания ОТПр
	КВ и УКВ СМ	КВ ММ	УКВ ММ ААС	ПС	БС-4	СКС РАТС	РРС	Всего	
1	3	6	14	1	1	1	1	27	1,0
2	2	6	14	1	1	1	2	27	0,96
3	2	6	13	1	1	1	2	26	0,93
4	2	6	12	2	1	1	2	26	0,92
5	2	5	12	2	1	1	2	25	0,91
6	2	5	11	2	2	1	2	25	0,89
7	1	5	11	3	2	1	2	25	0,85
8	1	5	10	3	2	1	2	24	0,81
9	1	5	9	3	2	1	2	24	0,73
10	1	4	9	3	3	1	2	24	0,61
11	1	4	8	4	4	1	2	24	0,51
12	1	4	8	4	4	1	3	25	0,53
13	1	4	8	4	4	1	4	26	0,83
14	1	4	8	4	4	1	5	27	0,97
15	1	4	8	4	4	1	6	28	0,98
16	1	4	8	4	4	1	7	29	1,0

Известно, что распознавание оперативно-тактической принадлежности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ является функцией

$$P_{\text{расп.отпр}} = F(x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (17)$$

где $x_1 \in \{1, 15\}$ – количество радиопередатчиков; $x_2 \in \{1, 3\}$ – количество станций спутниковой связи; $x_3 \in \{1, 10\}$ – количество станций радиорелейной связи; $x_4 \in \{1, 6\}$ – количество станций пейджинговой и сотовой связи на элементе системы и УС ПУ ТЗУ. Необходимо найти такой набор x_1, x_2, x_3, x_4 , при котором любой элемент системы и узла связи ПУ ТЗУ потенциально имел бы «серую» окраску на «сером» радиоэлектронном фоне в тактической зоне:

$$P_{\text{расп.отпр.эл.ус}} \Rightarrow \min \text{ и } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = \min.$$

По результатам эксперимента можно количественно судить о том, какие радиоэлектронные средства следует размещать непосредственно на рабочих местах должностных лиц ПУ ТЗУ (абонентских терминалах) и на терминалах коллективного пользования ПУ ТЗУ.

Анализ результатов (таблица 2) показал, что альтернатива 11 наиболее полно отвечает наложенным ограничениям и имеет наименьшую вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности элемента узла связи ПУ ТЗУ (0,51), при этом в одном районе ПУ должно быть не более 24 радиоизлучений (4–5 в КВ-, до 8 – в УКВ-диапазоне в режиме ААС, до 4 базовых станций сотовой связи, до 4 излучений УКВ-станций пейджинговой связи и 2 – радиорелейных станций на единой скорости 2048 Кбит/с).

При моделировании установлено, что использование станций космической связи (СКС) типа Р-440-У (Р-440-0) на центрах каналообразования систем и узлов связи ПУ ТЗУ

недопустимо, так как в этом случае при любом наборе РЭС вероятность распознавания элемента равна единице.

Следует также заметить, что при совместном расположении СКС на УС ПУ ТЗУ только с 2–3 радиорелейными станциями на элементе, вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности элемента по полной совокупности разведывательных признаков составляет 0,98 и выше. Исключением являются станции спутниковой связи типа Р-439 при их доведении от КНП батальонов и выше (при их массовом внедрении в части и подразделения бригады).

Предложенный подход позволяет оценить потенциальные возможности системы разведки по распознаванию оперативно-тактической принадлежности элементов узлов связи, т. е. по совокупности разведывательных признаков, которые могут быть получены противником с помощью технических средств разведки.

Так как разведывательные признаки элементов узлов связи для системы разведки проявляются не одновременно, а процесс выявления признаков растянут во времени, то возникает необходимость рассмотрения возможностей распознавания элементов системы связи и УС ПУ ТЗУ во времени [3, 4]. Таким образом, для повышения разведзащищенности элементов систем и УС ПУ ТЗУ необходимо предусматривать смешанные группы каналов образования.

Анализ результатов исследования показал, что наиболее полно отвечают наложенным ограничениям и имеют наименьшую вероятность распознавания (0,51) элементы узла связи ПУ ТЗУ оперативно-тактической принадлежности.

Создание смешанных групп каналов образования затруднит распознавание оперативно-тактической принадлежности в рамках одного комплекса РР (РТР) и позволит переложить решение задач классификации объектов на объединенные центры разведки и РЭБ (ОЦР и РЭБ) объединений противника. Это приведет к увеличению объемов разведывательной информации, которые необходимо будет обрабатывать на ОЦР и РЭБ, и повышению детализации разведывательных данных, поступающих от комплексов РР (РТР) противника.

Список литературы

1. Глод, И. В. Пути решения проблемы обеспечения устойчивого управления войсками (силами) / И. В. Глод, Г. С. Казаков, В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 1.
2. Методология военно-экономического обоснования состава и структуры ВС РФ / А. В. Квашнин [и др.]. – М. – 2002.
3. Додонов, А. Г. Живучесть информационных систем / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ. – Киев: Наук. думка, 2011. – 256 с.
4. Манько, С. А. Оценка живучести системы связи общевойсковое соединения / С. А. Манько // Материалы VII воен.-науч. конф., Минск, 26–27 янв. 2005 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2005.
5. Паскробка, С. И. Методы расчета показателей, характеризующих требования к управлению войсками / С. И. Паскробка, В. А. Сергиенко, А. А. Родионов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 2 (35). – С. 52–59.
6. Паскробка, С. И. Метод расчета показателей живучести пунктов управления / С. И. Паскробка, Р. А. Градусов, В. А. Сергиенко // Наука и воен. безопасность. – 2012. – № 4. – С. 57–59.
7. Кулешов, Ю. Е. Методический подход к оценке живучести информационных объектов в условиях информационного противоборства / Ю. Е. Кулешов, С. И. Паскробка, А. А. Родионов // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 23. – С. 31–37.
8. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 2003.
9. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981.

10. Семашко, Ю. А. Основы организации связи: учеб. пособие / Ю. А. Семашко, С. Г. Голубцов, В. А. Гришко. – Минск: ВА РБ, 2005.

11. Руководство по связи Сухопутных войск (связь в соединениях, воинских частях и подразделениях). – Минск: МО РБ, 2005.

*Сведения об авторах:

Касанин Сергей Николаевич.

Кашкаров Андрей Васильевич.

Родионов Андрей Александрович.

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Статья поступила в редакцию 05.11.2015 г.