

УДК: 629.7:681.7

DOI: 10.53816/23061456_2021_7–8_37

**МЕТОД РАСЧЕТА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ
ТИПОВЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ**

**METHOD FOR CALCULATING THE ESTIMATION
OF THE PROBABILITY OF RECOGNITION
OF TYPICAL GROUND OBJECTS OF AERIAL RECONNAISSANCE**

Канд. техн. наук А.С. Молчанов

Ph.D. A.S. Molchanov

В/ч 15650

В статье изложено методическое обеспечение оценивания вероятности распознавания типовых объектов воздушной разведки на основе величин линейного разрешения на местности, полученных по результатам летных испытаний цифровых оптико-электронных систем. Установлена и экспериментально подтверждена связь между величиной распознавания типовых объектов воздушной разведки и величиной их линейного разрешения на местности. Показано, что величина линейного разрешения на местности однозначно характеризует признаки распознавания (дешифрирования) объектов по цифровым изображениям, независимо от принципа формирования изображения и действующих на него внешних факторов. Получены величины линейного разрешения цифровых оптико-электронных систем на местности, обеспечивающих распознавание типа авиационных объектов, объектов автомобильной и бронетанковой техники с заданной вероятностью. Определены приоритеты развития методов и систем дешифрирования и обработки разведывательной информации. **Ключевые слова:** воздушная разведка, цифровая оптико-электронная система, распознавание наземных объектов, летные испытания, линейное разрешение, штриховая мира.

The article describes the methodological support for assessing the probability of recognition of typical aerial reconnaissance objects based on the linear resolution values on the ground, obtained from the results of flight tests of digital optoelectronic systems. The relationship between the recognition value of typical aerial reconnaissance objects and the value of their linear resolution on the ground has been established and experimentally confirmed. It is shown that the value of the linear resolution on the ground unambiguously characterizes the signs of recognition (decoding) of objects from digital images, regardless of the principle of image formation and external factors acting on it. The values of the linear resolution of digital optoelectronic systems on the ground have been obtained, which ensure the recognition of the type of aviation objects, objects of automobile and armored vehicles with a given probability. The priorities for the development of methods and systems for decrypting and processing intelligence information have been determined.

Keywords: aerial reconnaissance, digital optoelectronic system, recognition of ground objects, flight tests, linear resolution, dashed world.

Под эффективностью цифровой оптико-электронной системы (ЦОЭС) понимается качество решения задач обнаружения или распознавания объектов воздушной разведки (ВзР) с помощью этой системы в заданные сроки [1, 2]. Эффективность ЦОЭС ВзР необходимо характеризовать технической и тактической эффективностью ЦОЭС ВзР.

Техническая характеристика эффективности ЦОЭС ВзР определяет величину линейного разрешения на местности (ЛРМ), обеспечиваемую ЦОЭС ВзР при выполнении воздушной съемки.

Тактическая характеристика эффективности ЦОЭС ВзР определяется, главным образом, подробностью получаемого изображения при выполнении его дешифрирования. Тактическая характеристика эффективности ЦОЭС ВзР определяется вероятностными показателями в связи с тем, что как и получение первичной информации на аэроснимке, так и в процессе дешифрирования зависят от множества факторов (вибраций ЦОЭС, условий расположения объекта, способностей дешифровщика по обработке и дешифрирования первичной информации и др.), появление которых носит случайный характер [3–7]. Показателем тактической эффективности ЦОЭС ВзР являются вероятность обнаружения и распознавания типовых объектов воздушной разведки.

Для сравнительного анализа ЦОЭС, определения потенциальных характеристик разрешения и повышения достоверности летных испытаний необходимо установление экспериментальным путем зависимости между вероятностью распознавания объекта ВзР и величиной ЛРМ.

В настоящее время в соответствии с нормативно-техническими документами (НТД) системы общих технических требований (ОТТ) перед принятием в эксплуатацию каждого типа ЦОЭС военного назначения проводятся их летные испытания, цель которых — подтверждение заданных в тактико-техническом задании характеристик и выдача рекомендаций о принятии образца на вооружение (снабжение) и постановка на серийное производство [1, 2, 8]. Известные методы испытаний предусматривают аэросъемку одного и того же участка местности с расположенными на нем мирами (тест-объектами) и типовыми объектами ВзР. Затем группа дешифровщиков дает экспертную оценку качества и определяет

по утвержденным методикам величину линейного разрешения (ЛРМ) ЦОЭС. Количественно ЛРМ можно оценить экспериментальным путем с использованием тест-объектов (штриховых мир).

ЛРМ — характеристика ЦОЭС, определяемая шириной черной или белой полосы такого элемента, расположенной на местности миры, изображение которого на аэрофотоснимке еще может быть дешифрировано. На изображении миры находят предельно разрешаемую группу. В методическом отношении эта операция является одной из наиболее сложных процедур. На полученном аэроснимке предельно разрешенной считают ту наивысшую по частоте группу штрихов миры, в которой можно отчетливо сосчитать полное число штрихов. Предельно разрешенной группой штрихов в изображении считают ту, в которой все штрихи наблюдаются раздельно по всей их длине [2, 8, 9, 10].

Величину ЛРМ можно определить по формуле:

$$L = \frac{H}{2R_c f},$$

где H — высота фотографирования, м; R_c — разрешающая способность аэросъемочной системы, мм^{-1} ; f — фокусное расстояние объектива, мм.

На рис. 1 представлены штриховые миры видимого диапазона, используемые при проведении летных испытаний ЦОЭС.

В соответствии с НТД системы ОТТ к видам вооружения и военной техники проверка вероятности обнаружения и распознавания объектов разведки ЦОЭС проводится методом натурных испытаний [2, 11–13].

Контроль и расчет оценки вероятности обнаружения и распознавания объектов разведки ЦОЭС осуществляется статистическим и детерминированным методами [2, 14–15]. ЦОЭС ВзР считается выдержавшей испытания, если обеспечивается возможность обнаружения и распознавания объектов разведки по полученным изображениям, и вероятности обнаружения (распознавания) соответствуют требованиям тактико-технического задания и НТД системы ОТТ [16–18].

Обнаружение — это получение информации о наличии и местоположении в обозреваемом пространстве объектов наблюдения.

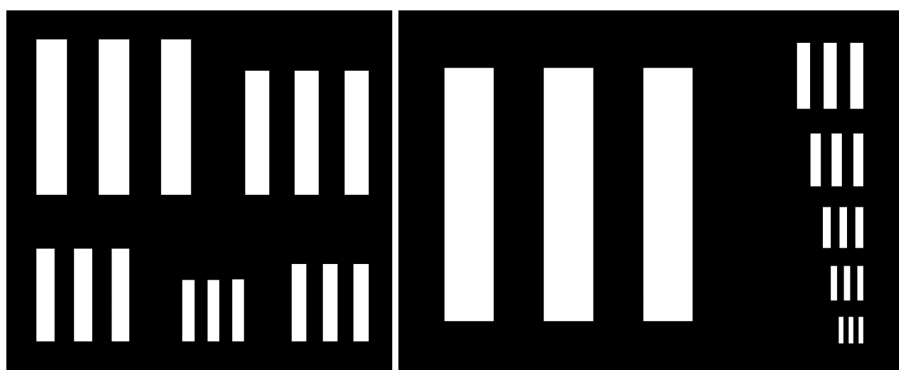


Рис. 1. Штриховые миры видимого диапазона

Критерий обнаружения — это наличие на устройстве отображения информации ЦОЭС отметки интересующего наблюдателя (дешифровщика) объекта, характеризующейся яркостным контрастом относительно фона.

Распознавание — это получение информации об обнаруженном объекте, позволяющей определить его принадлежность к определенному подклассу объектов.

Критерий распознавания — это наличие на устройстве отображения информации ЦОЭС особенностей внешней формы и других характеризующих признаков обнаруженного объекта, позволяющих по совокупности определить его принадлежность к определенному подклассу объектов.

Для задачи распознавания объектов развернутой (дифференцированной) характеристикой качества распознавания является полная матрица вероятностей распознавания.

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \cdot & \cdot & P_{0j} \\ P_{10} & \cdot & & & \cdot \\ \times & \times & \cdot & & \cdot \\ \times & \times & \times & \cdot & \cdot \\ P_{i0} & \times & \times & \times & P_{ij} \end{pmatrix}.$$

Эта матрица дает вероятностную оценку всех возможных нерандомизированных решений (конкретных ответов) при распознавании (классификации) объектов, которые составляют полную группу. В эту группу входят все возможные при поставленной задаче воздушной разведки объекты по классификации до типа и состояния включительно. В это число включается (обычно под нулевым номером) и фон местности (пространства) [19].

Порядок полной матрицы распознавания равен числу состояний типов объектов (включая и фон местности).

Элементы матрицы P_{ij} — это условные вероятности того, что решение принято в пользу i -го состояния, некоторого объекта, в то время как на самом деле, имело место j -е состояние того или другого объекта. Элементы главной диагонали полной матрицы представляют собой вероятности правильного распознавания как типа, так и состояния объекта. Если нулевым номером обозначен фон местности (и другие помехи), то первый элемент матрицы P_{00} означает вероятность правильного решения (ответа) о том, что объекта нет. Элементы полной матрицы P_{ij} , лежащие не на главной диагонали, дают вероятность перепутывания различных состояний и самих объектов между собой. Элементы первой строки P_{0j} , за исключением первого, означают вероятности перепутывания с фоном объектов, находящихся в различных состояниях, то есть вероятности пропуска. Элементы первого столбца P_{i0} означают вероятности перепутывания фона местности с соответствующим объектом в некотором состоянии — это частные вероятности ложной тревоги. Все остальные объекты означают вероятности перепутывания объектов и их состояний между собой — это частные вероятности перепутывания.

Так как матрица описывает полную группу событий, то сумма вероятностей по каждому из столбцов матрицы равна единице.

Рассмотренная матрица характеризует эффективность распознавания до самой высокой степени подробности применительно к рассматриваемой классификации. Для оценки точности измерения координат обнаруженных распознан-

ных объектов целесообразно пользоваться известными вероятностными критериями: стандартной (средней квадратической) ошибкой измерения координат или соответствующей ей вероятностью получения координат объектов с ошибкой, не превышающей заданной величины [1, 2, 19].

Оценивание вероятности распознавания проводится как бортовыми операторами в летных условиях, так и операторами-дешифровщиками на автоматизированных рабочих местах наземных комплексов обработки информации, путем визуального анализа объектов разведки на изображениях, полученных ЦОЭС при выполнении полетов на съемку типовых объектов разведки. Для дешифрирования изображений привлекаются дешифровщики, знающие основные демаскирующие признаки исследуемых объектов разведки и район полетов.

Под вероятностью распознавания P понимается частота правильного распознавания объектов [1, 2]:

$$P = \frac{n_1}{n_2},$$

где n_1 — число правильно распознанных объектов; n_2 — число объектов, предъявленных для распознавания.

В настоящее время считается удовлетворительным результат дешифрирования, характеризующийся вероятностью распознавания 0,8...0,9 [1, 2, 17–19]. Процесс дешифрирования выполняется в следующей последовательности:

- изучение условий получения изображения;
- подготовка материалов к дешифрированию, уточнение времени, района и высоты съемки;
- проведение оценивания изображения;
- проведение поиска сложных объектов и определение их элементов;
- определение границ сложного объекта и его расположения, выделение его основных элементов и групп простых объектов в нем;
- проведение распознавания простых объектов, оценивание и обобщение результатов;
- проведение распознавания объектов до вида, класса, подкласса и типа.

Сравнительная оценка дешифрировочных свойств изображений выполнялась по изображениям одних и тех же объектов техники и ландшафтов, полученных ЦОЭС в выбранном диапазоне ЛРМ. Число проходов воздушного суд-

на с ЦОЭС на заданной высоте рассчитывалось исходя из условия необходимости получения не менее 3-х изображений одного и того же объекта. Изображение оценивалось 10 дешифровщиками, что позволило получить не менее 30 реализаций дешифрирования одного объекта.

Вероятность ложной тревоги (ошибки первого рода), когда объекта разведки нет, а дешифровщиком принимается решение о его наличии $P_{\text{лож}}$ определяется по формуле

$$P_{\text{лож}} = \frac{\sum_{i=1}^{n \cdot N} n_{\text{лож}i}}{n \cdot N},$$

где $n_{\text{лож}i}$ — количество ложно дешифрированных объектов i -м дешифровщиком; n — количество дешифровщиков, участвующих в обработке материалов; N — количество изображений объекта разведки, предъявленных на дешифрирование.

Вероятность пропуска (ошибки второго рода) объекта разведки определяется по формуле

$$P_{\text{проп}} = \frac{\sum_{i=1}^{n \cdot N} n_{\text{проп}i}}{n \cdot N},$$

где $n_{\text{проп}i}$ — количество пропущенных объектов i -м дешифровщиком.

Значение разрешения, при котором в каждом конкретном случае, реализуется возможность распознавания до заданного уровня детальности, является случайной величиной. Можно полагать, что такие случайные величины подчиняются нормальному закону распределения Гаусса, тогда вероятность распознавания можно определить из выражения, параметры которого L_m и L_{m0} определены экспериментальным путем:

$$P(L_m \geq L_{m0}) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{L_{m0}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

где L_m — теоретическое (заданное) ЛРМ ЦОЭС; L_{m0} — полученное ЛРМ по результатам натурных работ. На рис. 2 показаны вероятностные характеристики распознавания типового объекта «танк Т-80». Результаты получены при расположении объекта на открытой равнинной мест-

ности, на гладком фоне при отсутствии средств маскировки и помех при контрасте объект/фон $K=0,45...0,55$. При дешифрировании для распознавания такого объекта с вероятностью $P>0,8$ до уровня «класс», «подкласс» и «тип» необходимо обеспечить ЛРМ ЦОЭС не ниже 0,33 м; 0,175 м и 0,1 м, соответственно (рис. 2).

Точка «а» (рис. 2) соответствует вероятности распознавания объекта до типа $P=0,8$, точ-

ка «b» соответствует вероятности распознавания объекта до подкласса, полученной по результатам дешифрирования $P=0,8$, точка «с» соответствует вероятности распознавания объекта до класса, полученной по результатам дешифрирования $P=0,8$.

Оценка вероятности обнаружения и распознавания типовых объектов разведки с помощью исследуемых систем (табл. 1 и 2), в том числе

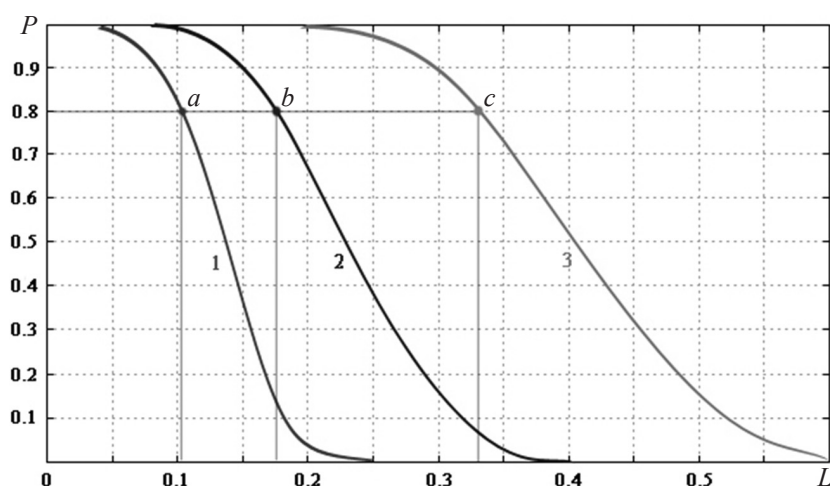


Рис. 2. Вероятностные характеристики распознавания типового объекта:
1 — до типа; 2 — до подкласса; 3 — до класса

Таблица 1

Результаты дешифрирования объектов, полученных ОЭЦН-ЛПЦ комплекса с БЛА «Орлан-30»
с $H=500$ м и наклонной дальности $D=1500$ м

№ п/п	Наименование объекта	Фон	Контраст кобфон/ кобтень	Вероятность распознавания				Величина ЛРМ LM по штрихо- вой мере
				вид	класс	подкласс	тип	
1	Су-27	Бетон	0,46/0,64	1	1	0,98	0,67	0,192
2	Су-17	Грунт с высох- шей травой	0,28/0,49	1	1	0,9	0,69	0,21
3	Миг-31	Бетон	0,42/0,74	1	1	0,92	0,6	0,198
4	Автомобиль «Газель» (белого цвета)	Бетон	0,43/0,84	1	1	0,95	0,65	0,183
5	Автомобиль «Лада Гранта» серого цвета	Бетон	0,35/0,69	1	1	0,83	0,57	0,2
6	Трактор МТЗ-50	Грунт с высох- шей травой	0,52/0,84	1	1	0,82	0,71	0,194
7	Бронетанковая техника (ЗРК «Оса»)	Бетон	0,47/0,77	1	0,97	0,75	0,35	0,187
8	Автомобиль «УРАЛ 4320» защитного цвета	Грунт с высох- шей травой	0,36/0,75	1	1	0,88	0,63	0,2

Таблица 2

Величины ЛРМ, необходимые для распознавания объектов с заданной вероятностью

№ п/п	Наименование объекта	Величина ЛРМ LP для распознавания с вероятностью 0,8		Величина ЛРМ LP для распознавания с вероятностью 0,9	
		подкласс	тип	подкласс	тип
1	Су-27	0,25	0,18	0,225	0,15
2	Су-17	0,24	0,19	0,22	0,175
3	Миг-31	0,24	0,175	0,22	0,16
4	Автомобиль «Газель»	0,225	0,17	0,2	0,15
5	Автомобиль «Лада Гранта»	0,21	0,175	0,18	0,155
6	Трактор МТЗ-50 (80)	0,2	0,18	0,175	0,165
7	Бронетанковая техника «Оса»	0,18	0,14	0,155	0,125
8	Автомобиль «Урал 4320»	0,22	0,18	0,19	0,165

в условиях воздействия преднамеренных помех проводилась по результатам натурных (летных) экспериментов и лабораторных исследований.

Проверка вероятности обнаружения и распознавания объектов разведки ЦОЭС проводилась методом натурных испытаний. Контроль и оценивание вероятности распознавания объектов воздушной разведки ЦОЭС осуществлялся статистическим и детерминированным методами.

Необходимо учитывать, что вероятность распознавания объектов будет отличаться для переднего и удаленного плана. Рациональная высота выбирается исходя из условий конкретной обстановки воздушной разведки (рис. 3).

Если выбрана высота ведения разведки $H_{пп}$, то на изображении с требуемой вероятностью будут распознаны объекты на переднем плане, а по главной горизонтали и по удаленному плану только обнаружены.

Если выбрана высота ведения разведки $H_{тг}$, то на изображении с требуемой вероятностью

будут распознаны объекты на переднем плане и главной горизонтали, а по удаленному плану только обнаружены.

Если выбрана высота ведения разведки $H_{уп}$, то на изображении с требуемой вероятностью будут распознаны объекты по всему полю кадра.

Для обеспечения заданной вероятности распознавания на изображении с различных высот необходимо оптическую ось ЦОЭС устанавливать таким образом, чтобы объекты разведки можно было распознать по всему полю кадра (рис. 4). Так как наклонная дальность при перспективной съемке зависит от отклонения главной оптической оси ЦОЭС от вертикали, следует изменять высоту полета летательного аппарата.

В табл. 1 представлены результаты дешифрирования объектов, полученных ОЭЦН-ЛПЦ комплекса с БЛА «Орлан-30» с $H=500$ м и наклонной дальности $D=1500$ м. ОЭЦН-ЛПЦ комплекса с БЛА «Орлан-30» с высоты полета $H=500$ м и наклонной дальности $D=1500$ м обеспечивает

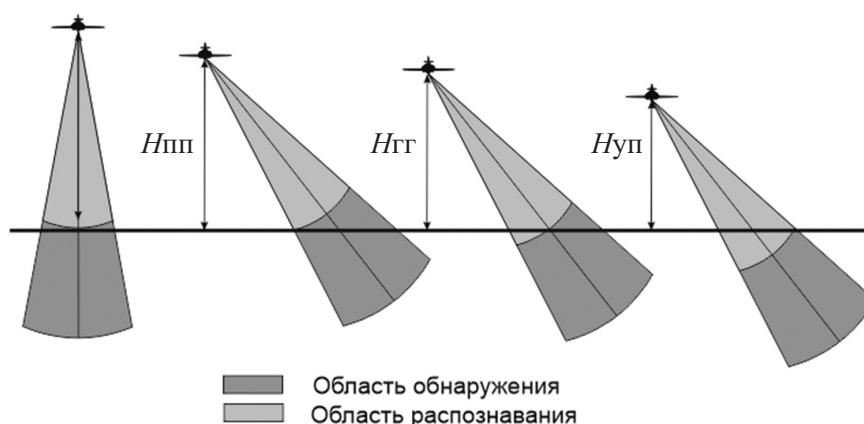


Рис. 3. Области достоверного распознавания объектов для различных высот полета

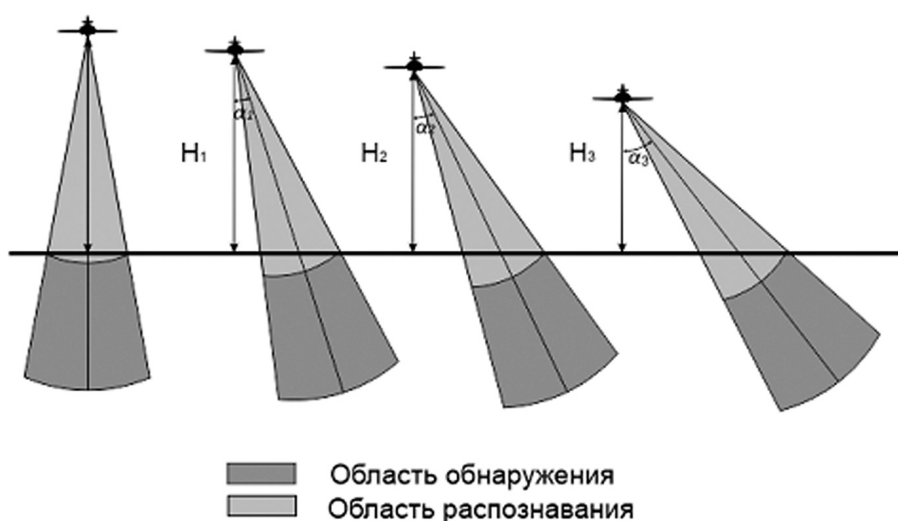


Рис. 4. Области достоверного распознавания объектов для различных углов отклонения главной оптической оси ЦОЭС

линейное разрешение на местности в видимом канале $L=0,183...0,21$ м. На этой дальности обеспечивается обнаружение и распознавание до уровня «тип»: авиационной техники с вероятностью $0,6...0,69$; автомобильной техники с вероятностью $0,57...0,65$; автотракторной с вероятностью $0,71$ и бронетанковой техники с вероятностью $0,35$. При этом «вид» и «класс» объектов распознается уверенно, а «тип» определить не вполне возможно.

За окончательную величину ЛРМ ЦОЭС ВЗР принято среднеарифметическое значение трех величин

$$L_M = L_{cp} + \sigma_L;$$

$$L_{cp} = \frac{1}{p \cdot q} \sum_{i=1}^{p \cdot q} L_{опr_i};$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{p \cdot q} (L_{опr_i} - L_{cp})^2}{p \cdot q - 1}},$$

где p — количество реализаций (изображений миры); q — количество операторов-дешифровщиков; $L_{опr}$ — определенное по штриховой мере ЛРМ; L_{cp} — среднеарифметическое значение ЛРМ, измеренное каждым дешифровщиком по всем отобранным изображениям штриховой миры; σ_L — среднеквадратическое отклонение измеренного значения ЛРМ от среднего значения.

Контраст объекта относительно фона и тени определяется:

$$K_{обфон} = \frac{L_{об} - L_{фон}}{L_{об}};$$

$$K_{обтень} = \frac{L_{об} - L_{тень}}{L_{об}},$$

где $L_{об}$ — яркость объекта; $L_{фон}$ — яркость фона, $L_{тень}$ — яркость тени объекта.

На рис. 5, 6 показ результат проведения воздушной разведки, с использованием телевизионного канала ОЭЦН-ЛПЦ, на различных высотах.

Вероятностные характеристики распознавания различных объектов: самолета Су-27, автомобиля «Лада Гранта» серого цвета, бронетанкового автомобиля (ЗРК «Оса») представлены на рис. 7–9, точка «d» соответствует вероятности распознавания объекта до подкласса $P=0,8$.

Анализ результатов показывает, вероятность перепутывания некоторых объектов с другими похожими очень велика, дешифровщики путают самолеты Су-17 с МиГ-21, МиГ-31 с МиГ-25, Урал 4320 с Зил-131, трактор МТЗ-50 (80) с ЮМЗ-6. На этапе распознавания класса авиационной техники наблюдается перепутывание класса истребителей с классом фронтовых бомбардировщиков, класса фронтовых бомбардировщиков с классом транспортных самолетов. Вероятность перепутывания также повышается в случае, когда некоторые дешифровщики по



Рис. 5. Телевизионный канал ОЭЦН-ЛПЦ, $H_{np} = 520$ м, $D = 1957$ м, Автомобиль «Газель» (белого цвета)



Рис. 6. Телевизионный канал ОЭЦН-ЛПЦ, $H_{np} = 2070$ м, $D = 3757$ м, самолеты Су-17, МиГ-25, МиГ-31 и ИЛ-39

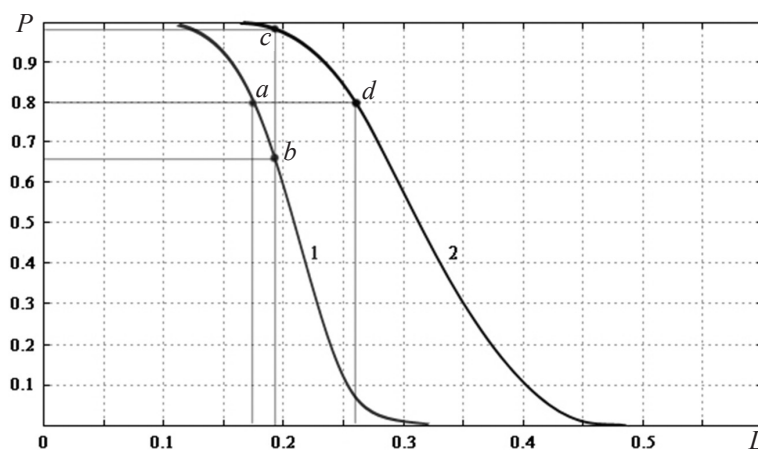


Рис. 7. Вероятностные характеристики распознавания самолета Су-27: 1 — до типа; 2 — до подкласса

причине слабой подготовки или недостаточного опыта в работе, не знают демаскирующих признаков некоторых объектов. Из анализа кривых (номограмм) вероятности распознавания в зависимости от ЛРМ, полученных для 12 объектов, величины вероятности распознавания типа объекта при контрольном дешифрировании, обеспе-

чиваются в среднем 64 % дешифровщиков, что свидетельствует о том, что типы объектов ими недостаточно изучены.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Установлена и подтверждена по результатам летного эксперимента количественная связь

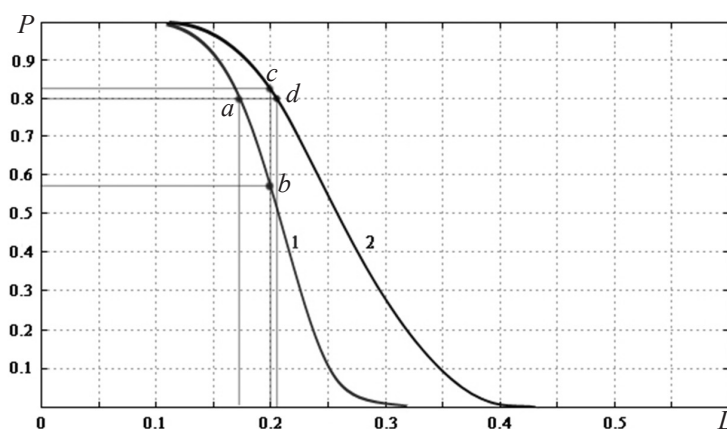


Рис. 8. Вероятностные характеристики распознавания автомобиля «Лада Гранта» серого цвета: 1 — до типа; 2 — до подкласса

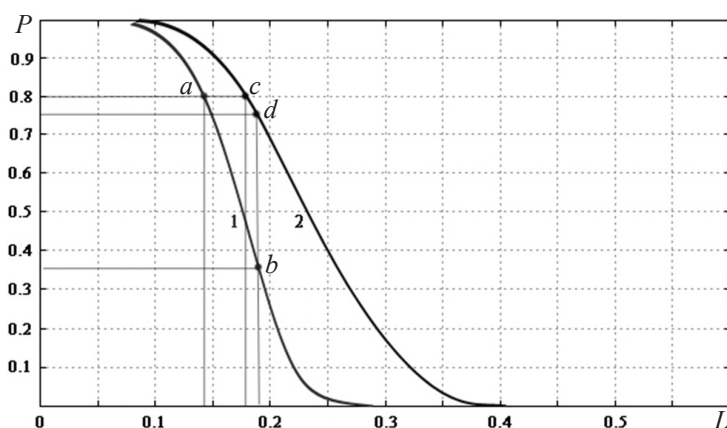


Рис. 9. Вероятностные характеристики распознавания бронетанкового автомобиля — ЗРК «Оса»: 1 — до типа; 2 — до подкласса

между величиной распознавания типовых объектов воздушной разведки и величиной их линейного разрешения на местности. Величина линейного разрешения на местности однозначно характеризует признаки распознавания (дешифрирования) объектов по полученным изображениям ЦОЭС, независимо от принципа формирования изображения и действующих на него внешних факторов: метеоусловий, высоты и скорости полета ЛА.

2. Для распознавания с вероятностью 0,8 до подкласса, типа авиационных объектов и объектов автомобильной и бронетанковой техники ЦОЭС должны иметь линейное разрешение на местности:

- для распознавания авиационной техники: до подкласса — $L=0,24...0,25$; до типа — $L=0,175...0,19$;

- для распознавания автомобильной техники: до подкласса — $L=0,21...0,225$; до типа — $L=0,17...0,18$;

- для распознавания бронетанковой техники: до подкласса — $L=0,18...0,22$; до типа — $L=0,14...0,18$.

3. Анализ состояния методов и систем дешифрирования и обработки разведывательной информации показывает, что в целях повышения качества и сроков сокращения дешифрирования, необходимо:

- максимально автоматизировать процесс дешифрирования;
- повышать уровень квалификации дешифровщиков;
- совершенствовать существующие методы и технические системы дешифрирования.

4. Результаты с величинами ЛРМ, необходимых для распознавания авиационной, автомобильной и бронетанковой техники могут быть использованы при отработке тактико-технических заданий и требований на разработку перспективных образцов вооружения и военной

техники, а также на этапе эксплуатации ЦОЭС ВЗР при подготовке экипажей на выполнение воздушной аэро съемки.

Литература

1. Ребрин Ю.К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов. — Киев: КВВАИУ. 1988. 450 с.
2. Молчанов А.С. Теория построения иконических систем воздушной разведки. — Волгоград: Панорама. 2017. 224 с.
3. Базарский О.В., Минаков Д.А., Фёклин В.Н. Сравнительный анализ эффективности линейных и матричных камер для целей воздушной разведки // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6 (6). С. 123–129.
4. Кивалов А.Н., Митрофанов И.В., Мещерин А.Н. Концептуальные аспекты организации испытаний систем разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации // Военная мысль. 2020. № 2. С. 89–98.
5. Молчанов А.С. Анализ построения и основные задачи систем автоматического распознавания объектов при проведении испытаний наземных комплексов обработки и дешифрирования материалов воздушной разведки // Славянский форум. 2020. № 1 (27). С. 237–248.
6. Ищук И.Н., Долгов А.А., Филимонов А.М., Дмитриев Д.Д. Методика оценки динамики изменения вероятностных характеристик распознавания объектов воздушной разведки // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2019. Т. 12. № 6. С. 683–693.
7. Курилов С.Н., Шмаров А.Н., Албузов А.Т. Методика оценки эффективности воздушной разведки при поиске замаскированных объектов // Охрана, безопасность, связь. 2018. Т. 1. № 3 (3). С. 176–183.
8. Молчанов А.С. Методика оценки линейного разрешения на пиксель аэрофотосистем военного назначения при проведении летных испытаний // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62. № 4. С. 390–396.
9. Чаусов Е.В., Молчанов А.С. Программно-методический комплекс обработки изображений при проведении лётных испытаний иконических оптико-электронных систем // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 1. С. 26–33.
10. Веселов Ю.Г., Гулевич С.П. и др. Повышение вероятности поиска типовых объектов воздушной разведки в процессе проведения летных испытаний БЛА. Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. 2015. № 3. С. 441–446.
11. Верба В.С., Меркулов В.И., Чернов В.С. Информационные системы авиационных комплексов тактической воздушной разведки США // Успехи современной радиоэлектроники. 2020. № 2. С. 5–21.
12. Екимов А.И., Кутахов В.П., Пляскота С.И. Перспективные направления развития беспилотной авиационной техники // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 2 (92). С. 104–112.
13. Приставка Ф.А., Гись Д.И., Чирков А.В. Способ автоматизированного поиска целевых объектов на видео с БПЛА в режиме пост-обработки // Захист інформації. 2019. Т. 21. № 2. С. 97–103.
14. Бережной А.А., Крыжановский И.Н., Барабаш О.В. Метод автоматизированного планирования маршрута беспилотного летательного аппарата с учетом выявления стационарных объектов // Телекоммуникационные и информационные технологии. 2019. № 4 (65). С. 90–98.
15. Шипко В.В. Метод и алгоритмы межканальной градиентной реконструкции многоспектральных изображений в оптико-электронных комплексах воздушной и космической разведки // Труды МАИ. 2019. № 104. 15 с.
16. Хабибуллин Г.А., Коронков С.О. и др. Отделяемая оптико-электронная система ведения воздушной разведки с помощью вертолѐта // Патент на полезную модель RU № 193634. 2019. Бюлл. № 31.
17. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И. и др. Методика оценки возможностей средств получения видовой информации при их комплексировании // Сборник докладов научных чтений по авиации, посвященных памяти Н.Е. Жуковского. 2015. № 3. С. 301–304.
18. Есев А.А., Базаров С.А., Рускин А.В., Солдатов Т.А. Методическое обеспечение определения максимальной дальности обнаружения объектов при выполнении поисково-спасательных работ с применением вертолѐтов, оборудованных очками ночного видения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2011. № 4. С. 45–51.

19. Молчанов А.С., Чаусов Е.В. Методика оценивания линейного разрешения авиационных цифровых оптико-электронных систем в процессе летных испытаний // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 2. С. 140–150.

References

1. Rebrin Ju.K. Optical-electronic reconnaissance equipment of aircraft. — Kiev: KVVAIU. 1988. 450 p.

2. Molchanov A.S. The theory of building iconic air reconnaissance systems. — Volgograd: Panorama. 2017. 224 p.

3. Bazarskij O.V., Minakov D.A., Fjoklin V.N. Comparative analysis of the effectiveness of linear and matrix cameras for aerial reconnaissance // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2018. № 6 (6). P. 123–129.

4. Kivalov A.N., Mitrofanov I.V., Meshherin A.N. Conceptual aspects of the organization of tests of reconnaissance and airspace control systems in the Russian Federation // Voennaja mysl'. 2020. № 2. P. 89–98.

5. Molchanov A.S. Analysis of the construction and the main tasks of systems for automatic recognition of objects during testing of ground complexes for processing and decoding air reconnaissance materials // Slavjanskij forum. 2020. № 1 (27). P. 237–248.

6. Ishhuk I.N., Dolgov A.A., Filimonov A.M., Dmitriev D.D. Methods for assessing the dynamics of change in the probabilistic characteristics of recognition of air reconnaissance objects // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii. 2019. Vol. 12. № 6. P. 683–693.

7. Kurilov S.N., Shmarov A.N., Albuzov A.T. Methods for assessing the effectiveness of air reconnaissance when searching for camouflaged objects // Ohrana, bezopasnost', svjaz'. 2018. Vol. 1. № 3 (3). P. 176–183.

8. Molchanov A.S. Methodology for assessing the linear resolution per pixel of military aerial photosystems during flight tests // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos'emka. 2018. Vol. 62. № 4. P. 390–396.

9. Chausov E.V., at al. Software-methodical complex for image processing during flight tests of iconic optoelectronic systems // Geodezija i kartografija. 2020. Vol. 81. № 1. P. 26–33.

10. Molchanov A.S., Veselov Ju.G., Gulevich S.P. Increasing the likelihood of searching for typical aerial reconnaissance objects in the process of UAV flight tests // Nauchnye chtenija po aviacii, posvjashhennye pamjati N.E. Zhukovskogo. 2015. № 3. P. 441–446.

11. Verba V.S., Merkulov V.I., Chernov V.S. Information systems of aviation complexes of tactical air reconnaissance of the USA // Uspehi sovremennoj radioelektroniki. 2020. № 2. P. 5–21.

12. Ekimov A.I., Kutahov V.P., Pljaskota S.I. Prospective directions of development of unmanned aerial vehicles // Izvestija Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk. 2016. № 2 (92). P. 104–112.

13. Pristavka F.A., Gis' D.I., Chirkov A.V. Method of automated search for target objects on video from UAV in post-processing mode // Zahist informacii. 2019. Vol. 21. № 2. P. 97–103.

14. Berezhnoj A.A., Kryzhanovskij I.N., Barabash O.V. Method of automated route planning for an unmanned aerial vehicle taking into account the identification of stationary objects // Telekommunikacionnye i informacionnye tehnologii. 2019. № 4 (65). P. 90–98.

15. Shipko V.V. Method and algorithms for interchannel gradient reconstruction of multispectral images in optoelectronic complexes of air and space reconnaissance // Trudy MAI. 2019. № 104. 15 p.

16. Habibullin G.A., Koronkov S.O. at al. Detachable optical-electronic system for conducting aerial reconnaissance using a helicopter // Patent na poleznuju model' RU № 193634. 2019. Bjull. № 31.

17. Veselov Ju.G., Ostrovskij A.S., Sel'vesjuk N.I. at al. Methods for assessing the capabilities of means of obtaining species information during their integration // Sbornik dokladov nauchnyh chtenij po aviacii, posvjashhennyh pamjati N.E. Zhukovskogo. 2015. № 3. P. 301–304.

18. Esev A.A., Bazarov S.A., Russkin A.V., Soldatov T.A. Methodological support for determining the maximum detection range of objects when performing search and rescue operations using helicopters equipped with night vision goggles // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashhity. 2011. № 4. P. 45–51.

19. Molchanov A.S., Chausov E.V. Methodology for evaluating the linear resolution of aviation digital optoelectronic systems during flight tests // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2019. № 2. P. 140–150.