

УДК 355.535.2

В.П. Городнов, Е.Б. Смирнов, А.В. Тристан, О.Е. Чернавина

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ НЕЗАКОННЫХ ВООРУЖЕННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ

Рассмотрен вопрос построения, выбора и обоснования показателей и критериев оценки эффективности ведения воздушной разведки незаконных вооруженных формирований в горно-лесистой местности. Обоснованные показатели и критерии могут быть включены в состав информационно-аналитической системы обеспечения процессов принятия решения на ведение воздушной разведки.

Ключевые слова: *вероятность, воздушная разведка, законы распределения случайной величины, незаконное вооруженное формирование, принятие решения, эффективность ведения разведки.*

Введение

Постановка проблемы. При принятии решений на ведение воздушной разведки наземного противника одним из элементов оценки обстановки является оценка местности. Тактические свойства местности могут позитивно и негативно влиять на результаты ведения воздушной разведки.

На территории Украины существуют значительные по площади участки горно-лесистой местности, которые могут быть использованы в особый период диверсионными разведывательными группами, а в мирное время – незаконными вооруженными формированиями (НВФ).

Горно-лесистая местность способствует скрытию действий противника, что приводит к неопределенности исходных данных для планирования разведки и вынуждает создавать многовариантный замысел действий своих войск.

При принятии решений по ведению разведки временные параметры движения НВФ по маршрутам в лесных массивах и на перемычках между ними заранее неизвестны и могут иметь свойства случайных величин. На скорость движения групп НВФ влияют разные факторы, например: неравномерная плотность лесных массивов, различия в физической и психологической подготовке членов НВФ, изменения тактической обстановки на маршруте движения (возникает необходимость останавливаться и маскироваться, изменять темп движения), чередование подъемов и спусков, случайность выбора времени для остановок на маршруте движения к объекту воздействия и др.

В статье [2] описана модель движения НВФ, позволяющая формировать множество маршрутов к объектам, без учета приоритетности маршрутов, что снижает эффективность воздушной разведки.

Для выбора лучших маршрутов необходима количественная оценка их приоритетности, что опреде-

ляет необходимость выбора показателя и критерия оценки качества маршрутов движения НВФ. Упорядочение по приоритетности маршрутов движения НВФ позволяет перейти к поиску маршрута полета разведывательного летательного аппарата (РЛА) для ведения воздушной разведки. Однако и в этом случае, для выбора маршрута полета РЛА нужно уметь количественно оценивать качество маршрутов, что определяет необходимость выбора показателя и критерия эффективности маршрутов полета.

Целью статьи является исследование и выбор показателей и критериев количественной оценки качества маршрутов движения НВФ к объектам воздействия и маршрутов полета РЛА в ходе ведения воздушной разведки.

Основной материал

Исходными условиями для решения задачи выбора показателей и критериев количественной оценки и выбора рациональных маршрутов движения НВФ и полета РЛА являются следующие ограничения и допущения в построении моделей их движения [2].

1. Координаты и время начала движения НВФ считаются известными с точностью, достаточной для принятия решений.

2. Направление движения НВФ заранее неизвестно, поэтому имеющиеся в районе возможные объекты воздействия будут определять множество направлений и маршрутов движения НВФ.

3. Каждый возможный маршрут движения НВФ разбивается на однородные участки (лесные массивы и перемычки между ними), в пределах которых НВФ, как объект разведки, становится уязвимым или неуязвимым с точки зрения оценки степени его обнаружения.

4. Данные участки могут чередоваться по мере выхода объекта к пункту назначения.

5. На отдельно взятом участке маршрута скорость движения НВФ является случайной величи-

ной, распределенной по равномерному закону, что позволяет [2] считать закон распределения случайного времени выхода в центр участка близким к нормальному с математическим ожиданием m_t и дисперсией $D[t] = \sigma_t^2$.

На рис. 1 показан вид плотности распределение нормального закона для случайной величины t – времени выхода объекта на середину участка маршрута движения.

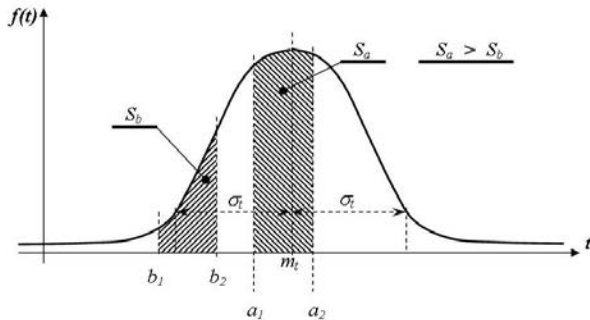


Рис. 1. Форма плотности распределения вероятности нормального закона для случайной величины – времени выхода объекта движения на середину участка маршрута

На рис. 1 отображены два случая, когда пролет открытого участка РЛА осуществляется в течение времени близкому к математическому ожиданию времени выхода НВФ на середину участка (время пролета над участком РЛА является временем разведки НВФ на этом участке и занимает интервал $a_1 < t < a_2$), или раньше ($b_1 < t < b_2$) указанного математического ожидания времени выхода НВФ на середину участка.

Вероятность нахождения случайного значения времени выхода НВФ на середину участка в интервале ($b_1 < t < b_2$) можно найти [1] по формуле (1) (рис.1):

$$P(b_1 < t < b_2) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{b_1}^{b_2} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} dt. \quad (1)$$

Процесс выбора противником рационального маршрута выхода к объекту воздействия связан с оценкой уязвимости НВФ от проводимой воздушной разведки. На маршруте движения к объекту воздействия, разведка НВФ с воздуха возможна только на открытых участках местности (на перемычках), которые соединяют лесные массивы (маскировочные емкости).

Количество возможных маршрутов движения НВФ из исходной точки на местности определяется количеством возможных объектов воздействия.

На каждом j -м маршруте (из множества возможных маршрутов J_k) движения НВФ в направлении k -го ($k=1,2,\dots,K$) объекта воздействия определяются все участки $i_k=1,2,\dots,I_k$, на которых существует возможность ведения воздушной разведки объекта движения. При этом степень уязвимости НВФ на маршруте

движения (U_{jk}) можно оценить соответствующим показателем (2)

$$U_{jk} = \sum_{i=1}^{I_k} \Gamma_{ijk} \times \frac{T_{уч-ijk}}{\Delta t_{min}}, \quad (2)$$

где $T_{уч-ijk}$ – оценка длительности наблюдения за участком при преодолении его объектом движения (i -й участок на j -м маршруте к k -му объекту воздействия);

Δt_{min} – оценка минимально необходимой длительности наблюдения для идентификации объекта с воздуха;

Γ_{ijk} – коэффициент, равный единице, если участок включается в анализ возможной разведки, и нулю – в противном случае.

Если на маршрутах имеются участки с ненулевой уязвимостью НВФ (2), то появляется возможность ранжирования маршрутов по степени уязвимости (степени разведывания).

Предполагается, что НВФ стремится выбрать маршрут с наименьшей накопленной степенью уязвимости (2).

Критерием выбора рационального маршрута движения НВФ целесообразно принять условие не превышения значения показателя (2) некоторого заранее заданного предельного значения ($U_{пред.}$) степени уязвимости

$$U_{jk} \leq U_{пред.} \quad (3)$$

Для всех участков исследуемого маршрута рассчитывается [2] математическое ожидание времени преодоления их НВФ ($m_{t_{ijk}}$) и дисперсия этой случайной величины ($D_{t_{ijk}}$). Тогда, используя свойство математического ожидания и дисперсии суммы независимых случайных величин, можно рассчитать математическое ожидание и дисперсию времени выхода НВФ в середину любого n -го участка из последовательности участков на j -м маршруте по воздействию на k -й объект

$$m_{t_{nj}} = \sum_{i=1}^n m_{t_{ijk}}; \quad D_{t_{nj}} = \sum_{i=1}^n D_{t_{ijk}}; \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

На рис. 2 приведен конкретный результат анализа вероятности разведывания НВФ на участках конкретного маршрута. По мере удаления участков от исходной точки к объекту воздействия дисперсия возрастает и вероятность снижается.

Значения по оси абсцисс соответствуют номерам участков и учитывают значения математического ожидания и дисперсии времени выхода НВФ на середину последовательности участков нарастающим итогом на одном из маршрутов движения НВФ к объекту воздействия. При этом графики отличаются временем ведения разведки над открытыми участками маршрута движения НВФ ($t_{разв.} = m_{t_{ijk}} \pm 1(2,5,10)$ минут).

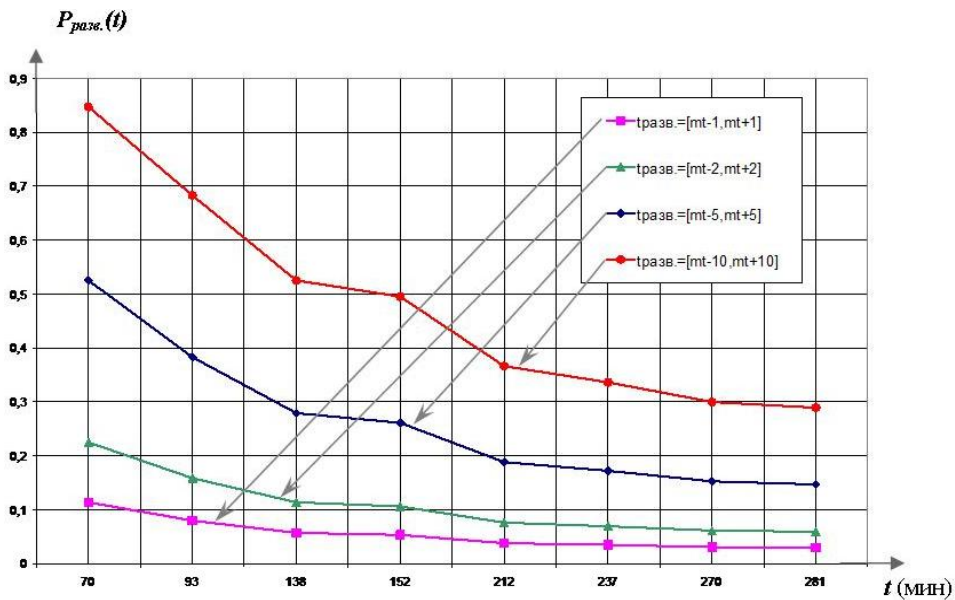


Рис. 2. Результаты расчета вероятности разведывания НВФ на участках маршрута по мере их удаления от исходной точки к объекту воздействия (вариант)

Отобрав по критерию (3) семейство рациональных вариантов маршрутов движения НВФ к объектам воздействия, можно составить множество открытых участков местности ($Q_{НВФ}$, рис. 3), на которых необходимо вести разведку НВФ.

К задачам планирования воздушной разведки целесообразно отнести:

- построение множества возможных маршрутов ведения разведки с необходимым условием облета всех открытых участков, но в соответствующее время – время нахождения НВФ на открытых участках;
- выбор одного из рациональных маршрутов полета РЛА с максимальным показателем эффективности ведения разведки.

Составленное множество открытых участков местности (бл. 1) описывается графом (бл. 2) $G=(Q, E)$, где $Q \subset Q_{НВФ}$ – множество вершин графа, соответствующих множеству возможных открытых участков местности на маршрутах движения НВФ, а E – множество дуг графа, которые описываются расстоянием между участками и временем полета РЛА между ними.

Минимально и максимально возможное время полета РЛА от одного выбранного участка разведки к следующему будет определяться по формулам

$$t_{mn}^{max} = \frac{L_{mn}}{V_{РЛА}^{min}}; t_{mn}^{min} = \frac{L_{mn}}{V_{РЛА}^{max}}. \quad (5)$$

Суть сортировки (бл.3) матрицы заключается в том, чтобы расставить элементы матрицы в строках и столбцах в таком порядке, который приводит в соответствие возрастание номеров строк и столбцов матрицы с ростом времени выхода НВФ на середину каждого участка. После этого формально можно утверждать, что в строках уже построены возможные варианты полета РЛА.

При этом образуется (табл. 1) матрица (множество) возможных маршрутов полета РЛА, в которой пока не учитываются условия временного согласования "прилета РЛА и прихода НВФ".

Итак, пространственные параметры между участками разведки (вершинами графа) не позволяют разведывательному летательному аппарату прибыть в то время, когда на участок предполагается выход разведываемого НВФ. Поэтому согласно алгоритму (рис. 3) проводится анализ всех строк и столбцов данной матрицы (табл. 1).

Характерным для временных параметров элементов матрицы (6)

$$\begin{aligned} 1. \Delta t_{(n-1)n} &= m_{t_n} - m_{t_{(n-1)}} > 0; \\ 2. \Delta t_{n(n-1)} &= m_{t_{(n-1)}} - m_{t_n} < 0; \end{aligned} \quad (6)$$

является то, что часть элементов матрицы (затененная часть таблицы) имеют отрицательные значения разницы ожидаемого времени выхода НВФ на середину рассматриваемых участков (из-за принципа сортировки), и поэтому из анализа исключаются.

Вторая симметричная часть матрицы включает элементы с положительными параметрами, которые можно использовать при планировании воздушной разведки. При этом проверяется несколько условий, одно из которых (бл. 7 рис. 3) целесообразно записать

$$t_{mn}^{min} - \sigma_{t_n} \leq m_{t_n} - m_{t_m} \leq t_{mn}^{max} + \sigma_{t_m}. \quad (7)$$

Условие позволяет оценить соответствие возможностей летательного аппарата и требований по прибытию НВФ в середину следующего выбранного участка. По мере удаления от первого разведываемого участка условие (7) будет менее критическим из-за роста дисперсии, поэтому более важными для анализа являются начальные участки ведения разведки.

Таблиця 1

Результат сортировки матрицы маршрутов полета РЛА

| | | | | | | | |
|-----|----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|---------------------|
| | 1 | 2 | ... | n | ... | N | $\Delta P_{раз, s}$ |
| 1 | 0 | ΔP_{12} | ... | ΔP_{1n} | ... | ΔP_{1N} | ΔP_1 |
| 2 | <0 | 0 | ... | ΔP_{2n} | ... | ΔP_{2N} | ΔP_2 |
| ... | <0 | <0 | 0 | ΔP_{3n} | ... | ΔP_{3N} | ΔP_3 |
| n | <0 | <0 | <0 | 0 | ... | ΔP_{nN} | ΔP_n |
| ... | <0 | <0 | <0 | <0 | 0 | ... | ... |
| N | <0 | <0 | <0 | <0 | <0 | 0 | 0 |

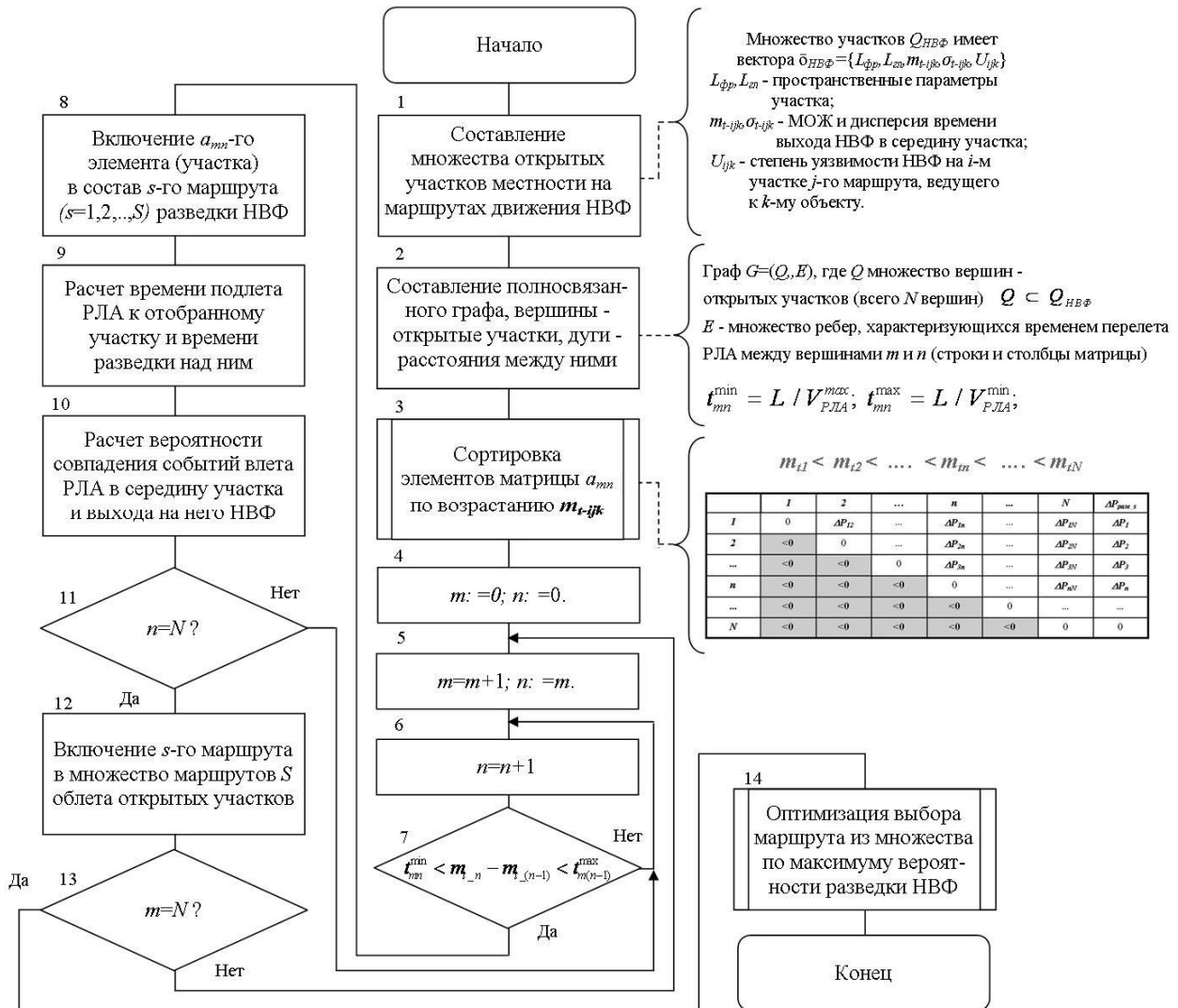


Рис. 3. Алгоритм формирования рационального маршрута ведения воздушной разведки НВФ

К другим условиям формирования маршрутов разведки целесообразно отнести: обязательность облета участков на всех маршрутах движения НВФ; обязательность облета хотя бы одного участка на отобранных для анализа маршрутах движения НВФ и другие.

Если следующий участок в матрице 1 соответствует условию (7), то он включается в состав маршрута (бл. 8 рис. 3) и для него рассчитываются требуемые скорость и время полета с таким расчетом, чтобы прилет РЛА и выход НВФ на середину участка (бл. 9 рис. 3) были в одно время.

По формуле (1) рассчитывается вероятность со-

бытия одновременного присутствия РЛА и НВФ на участке разведки (бл. 10 рис. 3). Для этого необходимо, используя пространственные параметры участка и минимально возможную скорость РЛА, рассчитать время влета РЛА в участок и вылета из него (8)

$$t_{\hat{a}\hat{e}_n} = m_{t_n} - \frac{L_n}{2V_{ДЕА}^{min}};$$

$$t_{\hat{a}\hat{u}\hat{e}_n} = m_{t_n} + \frac{L_n}{2V_{ДЕА}^{min}},$$
(8)

где L_n – протяженность n -го участка разведки для полета РЛА.

Нижня і верхня границі времени одночасного знаходження РЛА і НЗФ на розглядаємому участку знайдуться

$$c_1 = \max(a_1, t_{\text{вл}_n}); \quad c_2 = \min(a_2, t_{\text{выл}_n})$$

Тоді ймовірність ($\Delta P_{\text{разв}_n}$) виявлення НЗФ на даному участку можна знайти з використанням табличних значень інтеграла ймовірності [1]

$$\Delta P_{\text{разв}_n} = \Phi\left(\frac{c_2 - m_{t_n}}{\sigma_{t_n}}\right) - \Phi\left(\frac{c_1 - m_{t_n}}{\sigma_{t_n}}\right). \quad (9)$$

При досягненні кінця строки матриці 1 (бл. 11 рис 3) сформований маршрут включається в множество можливих маршрутів розвідки (бл. 12).

Сформувати інші маршрути розвідки можна, якщо починати розвідку не з першого, а з наступних ділянок. Для цього здійснюється аналіз комплексування маршруту розвідки ділянками по інших строкам матриці 1 (бл. 5, 13). Аналіз можливих маршрутів розвідки закінчується при досягненні кінця матриці (просмотрены все строки и столбцы матрицы). Цим вичерпується пошук можливих маршрутів. В якості показателя ефективності (E_s) маршруту польоту РЛА можна використовувати оцінку зваженого математичного очікування числа виявлених НЗФ на s -м маршруті польоту розвідника (10)

$$E_s = \sum_{n=1}^{N_s} \left(u_n \times \sum_k \Delta P_{k,\text{разв}_n} \right), \quad (10)$$

де: u_n – вага важливості об'єкта впливу, до якого веде маршрут руху НВФ і на якому знаходиться даний об'єкт впливу. Вага важливості суб'єктивно вибирається на інтервалі $[0,1]$ по належності n -го ділянки розвідки до конкретного маршруту руху НВФ. В цьому випадку критерієм вибору кращого маршруту польоту буде вимога максимізації показателя E_s (11):

$$\max E = \max_s E_s. \quad (11)$$

В відповідності з вимогами блоку 14 (рис. 3) з всього множини можливих маршрутів польоту буде обрано один, по якому і буде здійснено повітряна розвідка НВФ. Протяженість маршруту і інші його параметри визначаються польотним апаратом.

Выводы

Предложенные показатели (2) и (10) с использованием известных критериев (3) и (11) позволяют предусмотреть рациональный выбор маршрута движения НВФ и, соответственно, выбрать рациональный маршрут движения разведывательного летательного аппарата. Формализация задач обоснования выбора вариантов ведения воздушной разведки может позволить использование предложенных показателей в составе комплекса задач информационно-аналитического обеспечения процессов подготовки и принятия соответствующих решений.

Список литературы

1. Городнов В.П. Высшая математика (в популярном изложении): Учеб. пособие для студентов экон. специальностей / В.П. Городнов; Нар. укр. акад. [Каф. математики и мат. моделирования]. – Х.: Изд-во НУА, 2004. – 234 с.
2. Смирнов Е.Б., Тристан А.В., Чернавина О.Е. Описание модели движения групп незаконных вооруженных формирований при принятии решения на ведение воздушной разведки в горно-лесистой местности. // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2011. – №3 (19). – С. 241-245.
3. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Г.А. Дробаха, Є.Б. Смірнов, В.М. Більчук та ін. / За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. – Міністерство оборони України. – Х.: ХУ ПС, 2008. – 545 с.

Надійшла у редакцію 23.01.2012

Рецензент: д-р військ. наук проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВИБІР ПОКАЗНИКІВ І КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕДЕННЯ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ ЩОДО ВІЯВЛЕННЯ НЕЗАКОННИХ ЗБРОЙНИХ ФОРМУВАНЬ

В.П. Городнов, Е.Б. Смірнов, А.В. Тристан, О.Е. Чернавина

Розглянуто питання побудови, вибору та обґрунтування показників і критеріїв оцінки ефективності ведення повітряної розвідки незаконних збройних формувань в гірничо-лісовій місцевості. Обґрунтовані показники і критерії можуть бути включені до складу інформаційно-аналітичної системи забезпечення процесів прийняття рішення на ведення повітряної розвідки.

Ключові слова: вірогідність, повітряна розвідка, закони розподілу випадкової величини, незаконне збройне формування, прийняття рішення, ефективність ведення розвідки.

SELECTION CRITERIA AND INDICATORS FOR EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS AERIAL RECONNAISSANCE THE IDENTIFICATION OF ILLEGAL ARMED GROUPS

V.P. Gorodnov, E.B. Smirnov, A.V. Tristan, O.E. Chernavina

The question of construction, selection and validation of indicators and criteria for evaluating the effectiveness of aerial reconnaissance of the illegal armed formations in forested mountainous terrain. Reasonable rates and criteria may be included in the information-analytical system for decision-making processes to conduct aerial reconnaissance.

Keywords: probability, aerial reconnaissance, the laws of the random variable, the illegal armed formation, decision making, the effectiveness of intelligence.