

УДК 629. 73. 018. 7
DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-131-144

ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ИСПЫТАНИЯХ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

С.В. НИКОЛАЕВ¹

*¹929 Государственный летно-испытательный центр МО РФ,
г. Ахтубинск, Россия*

В статье представлена методика, математическая модель и ее программная реализация для расчета показателей эффективности визуального и аппаратного поиска и обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата. Методика отличается от известных тем, что использует современные информационные технологии и приспособлена для решения практических задач испытаний. Кроме того, нахождение значений вероятности визуального обнаружения наземных объектов в натурных экспериментах нереализуемо из-за огромного количества потребных затрат. Предложенная методика позволяет оценить в летных испытаниях частный показатель эффективности летательного аппарата при поиске наземных объектов – вероятность выхода на типовой наземный объект. Разработанная математическая модель учитывает известную дальность обнаружения объекта по его линейным размерам. Программная реализация позволяет выполнять расчеты для различных значений метеорологической обстановки. Выполнена оценка сходимости результатов моделирования и летных экспериментов. Для определения сходимости выполнялось сравнение результатов, полученных в реальных летных испытаниях на полигонах с разной метеорологической обстановкой, с результатами расчетов, полученных моделированием. Относительное расхождение показателей, полученных в летном эксперименте и рассчитанных разработанной программой, составляет менее 5 %.

Автором предложены новые частные показатели эффективности для задачи визуального обнаружения типовых наземных объектов. Это область возможного обнаружения наземного объекта и область гарантированного выхода на него. Данные показатели позволяют выполнить сравнительную оценку возможностей летательных аппаратов по обнаружению наземных объектов в испытаниях. Эти показатели, в отличие от известных, обладают большей наглядностью и информативностью.

Разработанная программа для ЭВМ снижает временные затраты испытателя на расчет показателей и подготовки материалов в акт в 3 раза за счет автоматизации и удобства использования. Позволяет выполнять расчеты, варьируя любые показатели, от которых зависит вероятность обнаружения типового наземного объекта, в широком диапазоне их изменения.

Ключевые слова: летные испытания, обнаружение наземных объектов, вероятность обнаружения, летательные аппараты.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск и обнаружение наземных объектов с борта летательного аппарата (ЛА) является актуальной задачей. Поиск типового наземного объекта (ТНО) может осуществляться как визуально, так и с помощью бортовых средств. Например, если в результате радиотехнического поиска потерпевшие бедствие не обнаружены, то по решению руководителя поисково-спасательных работ производится визуальный поиск. Решение задачи визуального поиска с борта ЛА связано с деятельностью человека – оператора [1] и зависит в том числе от точности выхода в заданный район, что связано с работой систем наведения ЛА [2]. Визуальный поиск [3] осуществляется по заданным квадратам, определенным с помощью палетки с сеткой визуального поиска; палетка должна находиться на борту каждого поисково-спасательного воздушного судна. При постановке задачи экипажу командир воздушного судна определяет для каждого члена экипажа и наблюдателя секторы просмотра пролетаемой местности.

Одним из показателей целевых свойств летательных аппаратов может быть вероятность выхода на ТНО при решении поисково-спасательных задач.

Известен ряд методик расчета показателей эффективности при обнаружении наземных объектов [4–7], однако в существующем виде они не применимы для определения вероятностей

решения задач по обнаружению ТНО, к тому же не учитывают стремительного развития информационных технологий [8–11]. Поэтому актуальной является разработка для данной задачи летных испытаний ЛА современного алгоритмического, методического и программного обеспечения по аналогии с [12–16].

Непосредственное нахождение вероятностей из летного эксперимента требует неприемлемо большого числа испытательных полетов, поэтому для определения вероятности выхода на ТНО необходимо использовать опытно-теоретический метод испытаний, хорошо показавший себя при решении различных испытательных задач [12–16]. В рамках метода создается математическая модель для обнаружения и распознавания ТНО визуально и с помощью оптико-электронных средств, а также программная реализация расчетов по исходным данным, в том числе полученным в летных экспериментах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения задач оценки эффективности поиска ТНО необходимо разработать методику оценки в летных испытаниях частного показателя эффективности ЛА при поиске наземных объектов – вероятности выхода на типовой наземный объект $P_{\text{вых}}$. Методика обеспечит повышение качества испытаний и исследований с одновременным сокращением затрачиваемого времени на проведение испытаний, анализ и обработку материалов летных экспериментов.

В рамках методики должна быть разработана программа для ЭВМ, позволяющая рассчитывать вероятность выхода ЛА на ТНО, вероятность выхода сходу и вероятности обнаружения и распознавания ТНО по исходным данным, полученным в летных испытаниях (ЛИ). Программа должна позволять не только выполнять расчеты показателей, но и обеспечить построение графических зависимостей, формирование таблиц для подготовки материалов в акт по испытаниям.

Под термином «выход на ТНО» в методике понимается возможность ЛА (его летного экипажа визуально или с помощью бортового оборудования) обнаружить (распознать) заданный объект и решить поисково-спасательную задачу.

Показатель $P_{\text{вых}}$ характеризует степень возможности осуществления указанных выше операций по оцененным в испытаниях характеристикам ЛА и его систем. Существующий метод оценки показателя только экспериментальным путем (по частоте выходов) достаточно дорог, занимает много времени и дает низкую достоверность из-за малого количества наблюдений [6]. Кроме того, в процессе испытаний не удастся проверить все варианты выхода в различных условиях применения ЛА, характера местности, времени суток, года и метеорологических условий. Как известно [3, 5, 6], в сложных метеоусловиях (наличие дымки, снег, дождь) поиск объекта оптико-электронными системами и бортовой РЛС затруднен, а визуальное обнаружение может стать практически невозможным.

Поэтому значение данного показателя целесообразно получать на основе математического моделирования (ММ), определяя те условия и характеристики ЛА, которые в наибольшей степени влияют на искомую вероятность и которые необходимо уточнять в ЛЭ. Это позволяет определять вероятность выхода на объект для любых заданных условий выполнения задачи и прогнозировать ее изменение в соответствии с вариациями этих условий и изменением характеристик ЛА.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В предлагаемой методике использована математическая модель процесса визуального или аппаратурного обнаружения наземного объекта [6], которая учитывает подходы к

решению данной задачи [3, 5, 7] и разработана на основе описанного в [4] математического аппарата. При создании модели учтены некоторые принципы создания моделирующих стендов, сформулированные в [1, 2, 8, 10]. Учет пилотажных характеристик (маневренность, устойчивость, управляемость) при моделировании движения ЛА осуществляется на основе работ [12–16]. При необходимости модель может быть использована с учетом аэродинамики конкретного ЛА, которая постоянно корректируется методами идентификации по результатам летных экспериментов [17–20]. Подходы к учету динамических характеристик летчика даны в [21–23]. Для качественного анализа влияния параметров поиска на вероятность и время обнаружения наземных объектов использованы подходы, изложенные в [5, 7].

В настоящей методике принято, что в общем случае процесс выхода на объект разбивается на две фазы. Первая фаза заключается в выводе самолета на объект (район поиска), его визуальном или аппаратном поиске. Фаза завершается обнаружением и распознаванием. Вторая фаза определяется возможностью решения целевой задачи, например, пролетом над ТНО и сбросом контейнера с грузом (медицинский модуль, припасы).

В принятой модели расчет начинается в точке выхода, находящейся на некотором расстоянии D_0 от объекта, в которую ЛА выводится с курсом, предположительно направленным на объект. При этом возникают ошибки по дальности и по боковой координате, обусловленные неточностями априорной информации о координатах объекта и погрешностями бортовой навигационной системы. Далее начинается этап обнаружения и распознавания. Дальность обнаружения ТНО визуальным или с помощью бортовых визирных систем зависит от ряда факторов, большинство из которых изменяется во времени случайным образом. Очевидно, что чем раньше будет обнаружен и распознан ТНО, тем более благоприятными будут условия для выхода ЛА в точку (область) решения задачи. Поэтому возможность выполнения задачи при поиске и обнаружении ТНО зависит от дальностей их обнаружения и распознавания.

Маневрирование ЛА с целью выведения его в точку области решения задачи начинается с момента обнаружения, при этом требуемое значение горизонтальной дальности до ТНО, необходимое для успешного выполнения маневра, зависит от маневренных свойств самолета, параметров его движения и координат объекта относительно ЛА.

Таким образом, успех поисково-спасательной операции зависит от целого ряда случайных величин и, следовательно, сам является случайным событием. Поэтому использование вероятности в качестве основного показателя эффективности правомерно.

Выберем в качестве параметра горизонтальную дальность D от ЛА до объекта. Далее, представляя конечную задачу как совокупность этапов, получим выражение для вероятности выхода на ТНО

$$P_{\text{вых}}(D) = P_{\text{обн}}(D) \cdot P_{\text{ман}}(D) \cdot P_{\text{обз}}(D),$$

где $P_{\text{обз}}(D)$ – вероятность попадания объекта в полосу обзора,

$P_{\text{обн}}(D)$ – вероятность обнаружения ТНО на удалении от объекта,

$P_{\text{ман}}(D)$ – вероятность выполнения доворота на ТНО (определяется маневренными возможностями ЛА);

D – дальность горизонтальная до объекта, м.

Расчетные формулы, используемые в методике, основаны на математическом аппарате теории исследования операций [4]. Для случайных величин принят нормальный закон распределения, учет маневренных возможностей ЛА проводится по известной из динамики полета формуле для радиуса разворота

$$r = \frac{V^2}{g \cdot \sqrt{n_y^2 - 1}},$$

где r – радиус разворота ЛА, м;
 V – скорость полета ЛА, м/с;
 n_y – нормальная перегрузка, ед. перегрузки;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Вероятность попадания цели в полосу обзора $P_{обз}(D)$ определяется аналогичным образом из очевидных геометрических соображений с учетом величины угла обзора визирующей системы и рассеивания по боковой координате.

Рассеивание точек выхода ЛА по боковой координате

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{нав.z}^2 + \sigma_{раз.z}^2 + \sigma_{стар.z}^2}$$

Складывается из трех основных групп случайных ошибок:

- ошибок самолетовождения (навигации) $\sigma_{нав.z}$;
- ошибок определения координат ТНО средствами разведки местности $\sigma_{раз.z}$;
- ошибок прогнозирования координат объекта к моменту решения задачи (старения информации, в основном для подвижных ТНО) $\sigma_{стар.z}$.

Вероятность $P_{обн}(D)$ при визуальном поиске определяется по известным эмпирическим формулам [5], учитывающим среднегодовую метеовидимость, метеорологическую дальность видимости (МДВ), наличие облачности, осредненный рельеф местности (через вероятность прямой видимости), размер наземного объекта, время, необходимое человеку для распознавания объекта.

Вероятность $P_{обн}(D)$ при использовании оптико-электронных средств (ОЭС) поиска определяется следующим образом. Под ОЭС понимаются средства получения и преобразования информации о ТНО, использующие для получения информации оптический диапазон спектра электромагнитных колебаний, а для преобразования информации – различные электронные устройства. Основными типами ОЭС являются: телевизионные; инфракрасные; оптико-визуальные; лазерные. Дальность действия ОЭС может определяться на основе энергетического расчета и выражается через технические характеристики конкретной ОЭС, обобщаемые коэффициентом – $Kth1$.

По перечисленным в техническом задании (ТЗ) на конкретный ЛА и его ОЭС параметрам ТНО, например, линейному размеру $L_{ц,ТЗ}$, заданы значения дальности обнаружения ТНО ($D_{обн,ОЭС}$) с соответствующей вероятностью ($P_{обн,ОЭС}$). Вероятности задаются, как правило, в диапазоне 0,7–0,9. Эти заданные значения и определяют коэффициент $Kth1$:

$$Kth1 = \frac{\ln\left(\frac{1}{P_{обн,ОЭС}}\right)}{D_{обн,ОЭС}^2}.$$

Если по результатам испытаний заданные значения показателей подтверждаются с соответствующей доверительной вероятностью, значит, технические характеристики в норме и данный образец ЛА принимается в эксплуатацию.

Для определения вероятности обнаружения ТНО с другими параметрами $L_{ц}$ используется поправочный коэффициент.

$$k_{L_{ц}} = \frac{L_{ц}}{L_{ц.ТЗ}}$$

Если внешние условия, например метеорологическая дальность видимости (МДВ), также отличаются от заданных в ТЗ, то также используется поправочный коэффициент.

$$k_{МДВ} = \frac{МДВ}{МДВ_{ТЗ}}.$$

В результате, для практических расчетов величины вероятности обнаружения ТНО от дальности используется следующая аналитическая зависимость, полученная на основании опыта проведения испытаний:

$$P_{обн.ОЭС}(D) = e^{-\left(\frac{Kth1 \cdot D^2}{k_{L_{ц}} \cdot k_{МДВ}}\right)}.$$

Используя поправочные коэффициенты, можно с соответствующей доверительной вероятностью определять значение показателя для любых ТНО в широком диапазоне внешних условий.

Показатель прямой видимости, зависящий от рельефа местности, рассчитывается аналогичным способом, как и при визуальном обнаружении, например, для высоты полета до 1000 метров используется следующая эмпирическая зависимость:

$$P_{пв}(D) = e^{-\left(15.3 \cdot \left(\frac{D}{10^3}\right) \cdot H^{-0.9}\right)}.$$

Произведение этих вероятностей определяет вероятность обнаружения ТНО с учетом прямой видимости

$$P_{обн}(D) = P_{обн.ОЭС}(D) \cdot P_{пв}(D),$$

которая используется в формуле расчета вероятности выхода $P_{вых}(D)$.

При необходимости данный показатель можно дополнить другими элементами метеоусловий.

Вероятность $P_{обн}(D)$ при использовании бортовой радиолокационной станции (РЛС) рассчитывается аналогично, как и для ОЭС.

По перечисленным в ТЗ параметрам ТНО теперь это эффективная отражающая поверхность (ЭОП) – $\sigma_{ц.ТЗ}$ заданы значения дальности обнаружения $D_{обн.рлс.ТЗ}$ с соответствующей вероятностью $P_{обн.рлс.}$. Эти заданные значения определяют коэффициент $Kth2$ (номер коэффициента изменен для отличия от ОЭС):

$$Kth2 = \frac{\ln\left(\frac{1}{P_{обн.рлс.ТЗ}}\right)}{D_{обн.рлс.ТЗ}^4}.$$

Для определения вероятности обнаружения ТНО с другими параметрами $\sigma_{ц}$ используется поправочный коэффициент.

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{ц}}{\sigma_{ц.ТЗ}}$$

Величину сжатия зоны обнаружения РЛС от воздействия помехможно учесть через коэффициент $k_{сж}$.

Итоговые формулы для случая с применением РЛС имеют вид

$$P_{обн.рлс}(D) = e^{-\left(\frac{Kth2 \cdot D^4}{k_{\sigma} \cdot k_{сж}}\right)};$$

$$P_{обн.}(D) = P_{обн.рлс}(D) \cdot P_{пв}(D).$$

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для расчета показателей эффективности ЛА при решении поисковых задач и представления результатов испытаний в удобном для помещения в акт виде, разработана программная реализация вышеописанной модели – программа для ЭВМ «Выход ЛА», которую кроме того удобно использовать для сравнительной оценки ЛА по показателям эффективности за счет реализации функции экспорта в Excel исходных данных и рассчитанных показателей.

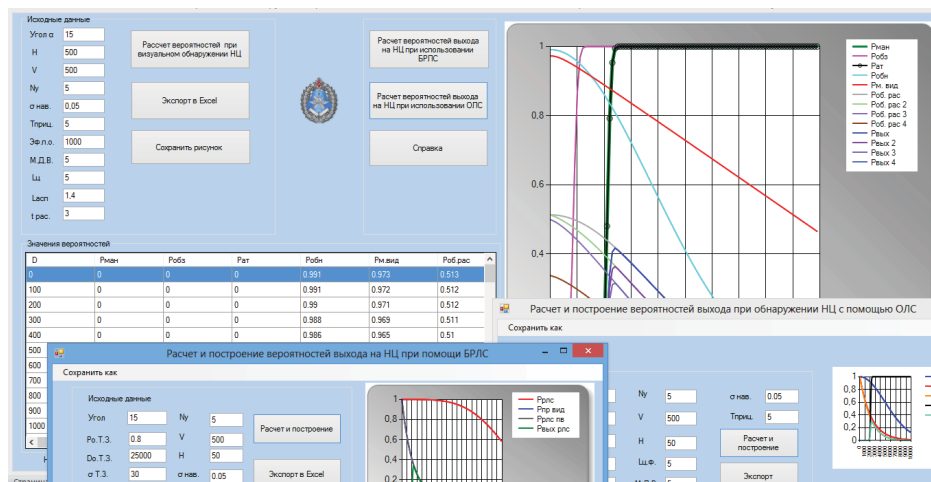


Рис. 1. Интерфейс программы «Выход ЛА»
Fig. 1. The aircraft entering program interface

Программа имеет современный многооконный графический интерфейс и обеспечивает выполнение следующих функций:

- расчета вероятностных показателей эффективности ЛА при обнаружении ТНО;
- графического построения зависимостей вероятностей от дальности до ТНО;
- сохранения графиков в форматах bmp, jpeg, png в удобном для помещения в акт по испытаниям виде;
- экспорта результатов расчетов в таблицу Excel.

Сходимость результатов

Для оценки свойств ЛА и их возможностей по визуальному обнаружению ТНО, в условиях, приближенных к реальным, с соответствующим тактическим фоном, были проведены испытания на полигонах «А» и «Б».

Полигон «А» – местность холмистая, относительные высоты холмов 20–50 с округлыми вершинами. Склоны пологие до 10–15 градусов, часть из которых на обратных скатах для самолета образуют оптические поля невидимости. Средняя МДВ 7,3 км. Утром и вечером дымка и туман в низинах ограничивают видимость до 2–3 км.

Полигон «Б» – равнинная местность с редкой травянистой растительностью, местами есть перепады высот в несколько метров, пылевой след аналогичен «А», МДВ более 10 км.

Результаты испытаний, полученные в данных работах, далеко не однозначны и не представляют достаточного количества реализаций для набора статистики. Кроме того, условия, в которых получены результаты обнаружения и распознавания ТНО, полностью описаны лишь для нескольких точек, по которым и проводилась оценка сходимости модели. Это касается и расчета вероятностей выхода на ТНО.

Сравнение результатов расчетов с данными, полученными в ЛЭ на реальном тактическом фоне полигонов «А» и «Б», говорит о том, что относительное расхождение показателей при визуальном обнаружении составляет менее 5 % (рис. 2–4).

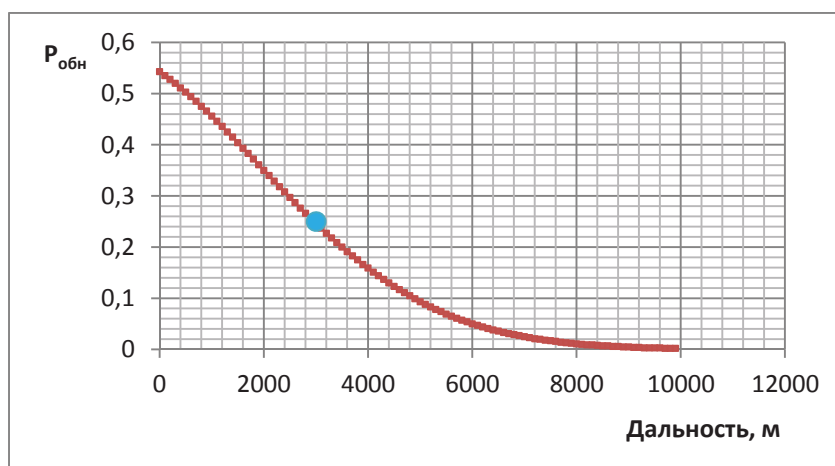


Рис. 2. Сравнение расчетной (программа «Выход ЛА») зависимости вероятности обнаружения ТНО от дальности до него с экспериментальной точкой (полигон «А»)

Fig. 2. Comparison of the calculated (aircraft entering) relationship between probability of detection a typical ground object and distance to the object with an experimental point (ground A)

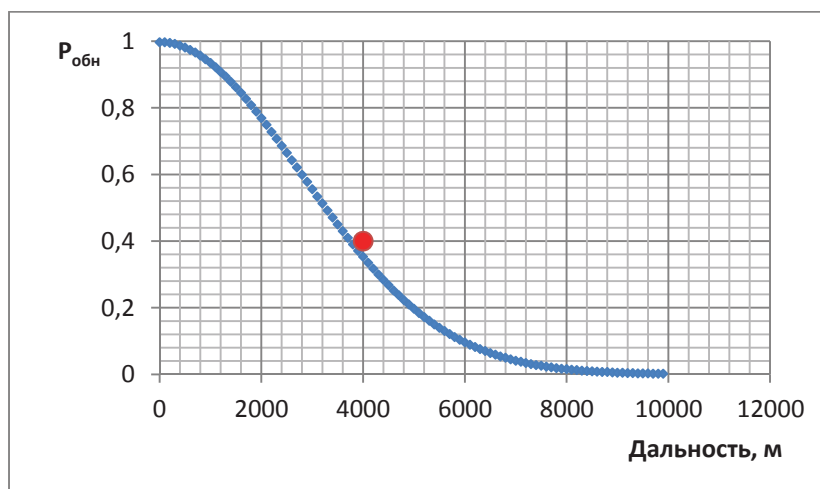


Рис. 3. Сравнение расчетной (программа «Выход ЛА») зависимости вероятности обнаружения ТНО от дальности до него с экспериментальной точкой (полигон «Б»)

Fig. 3. Comparison of the calculated (aircraft entering) relationship between probability of typical ground object detection and distance to it with an experimental point (ground B)

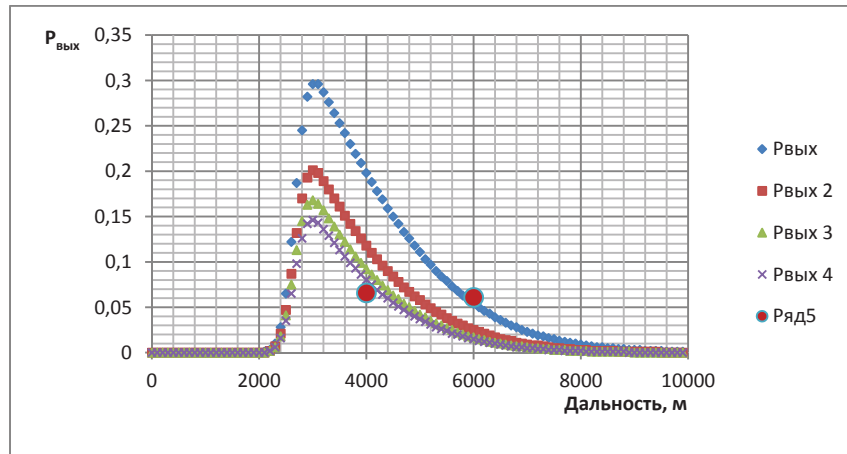


Рис. 4. Сравнение расчетных (программа «Выход ЛА») зависимостей вероятности выхода на ТНО от дальности до него с точками, полученными в летном эксперименте (полигон «Б»)

Fig. 4. Comparison of the calculated (aircraft entering) relationship between a probability of entering a typical ground object and distance to it with points received during a flight experiment (ground B)

На рис. 4 обозначения $P_{\text{вых}}$, $P_{\text{вых}2-4}$ являются зависимостями вероятности выхода на ТНО от дальности в различных условиях, рассчитанными программой. Ряд 5 – экспериментальные точки.

Высота полета воздушных судов при производстве поисково-спасательных работ назначается в пределах 100–400 м при визуальном поиске, но не ниже безопасной над данной местностью [3]. Сравнение дальностей визуального обнаружения объектов на местности при ясной погоде, приведенные в [3] и рассчитанных программой «Выход ЛА», представлено в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Объект наблюдения	Время года	Высота полета, м	Дальность обнаружения согласно РП АСОП ГА-91, км	Дальность обнаружения согласно расчету программой «Выход ЛА», км
Один человек (группа людей)	зимой	200	1,6–1,8	1,6–1,8 с вероятностью 0,65 1,0–1,4 с вероятностями 0,9–0,8 соответственно
	летом	200	1,0–1,4	
Самолет (вертолет)	зимой и летом	200	2–4	2–4 с вероятностями 0,9–0,7 соответственно

НОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В настоящей методике предложен новый показатель эффективности визуального поиска – область возможного обнаружения (ОВО), которая представляет собой область в координатах высота полета ЛА и дальность до ТНО. В этой области обнаружение ТНО обеспечивается с заданной вероятностью (рис. 5). Аналогичным образом получается еще один новый показатель – область гарантированного выхода (ОГВ) на ТНО с заданной вероятностью (рис. 6). Эти показатели, в отличие от известных, обладают большей наглядностью и информативностью, позволяют выполнить сравнительную оценку эффективности визуального (аппаратурного) поиска разными ЛА.

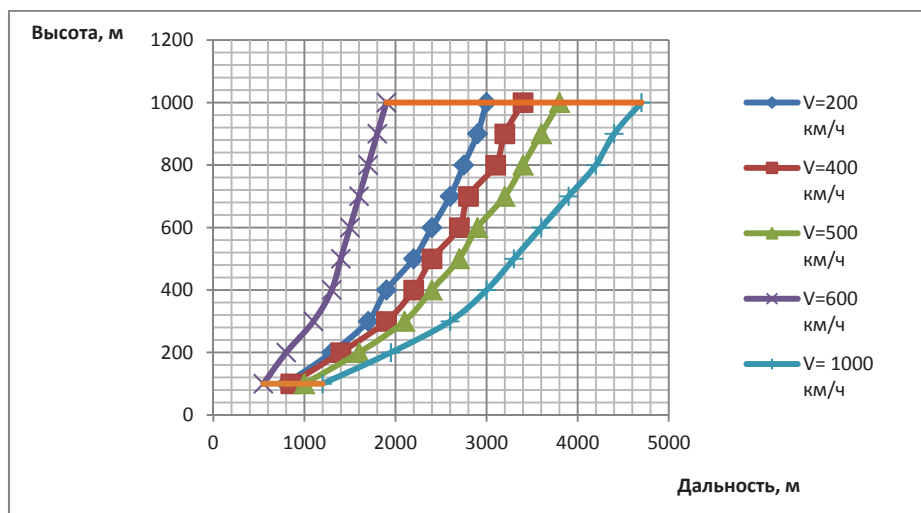


Рис. 5. Область возможного обнаружения ТНО с заданной вероятностью $P_{\text{обн}} = 0,7$ для диапазона высот полета 100–1200 м и скоростей 200–1200 км/ч, при МДВ = 5 км, линейный размер объекта 5 м

Fig. 5. Area of a typical ground object possible detection with assigned probability of $R_{\text{find}} = 0.7$ for a range of altitude 100–1200m and speeds 200–1200km/h, MRV = 5km, linear object size 5m

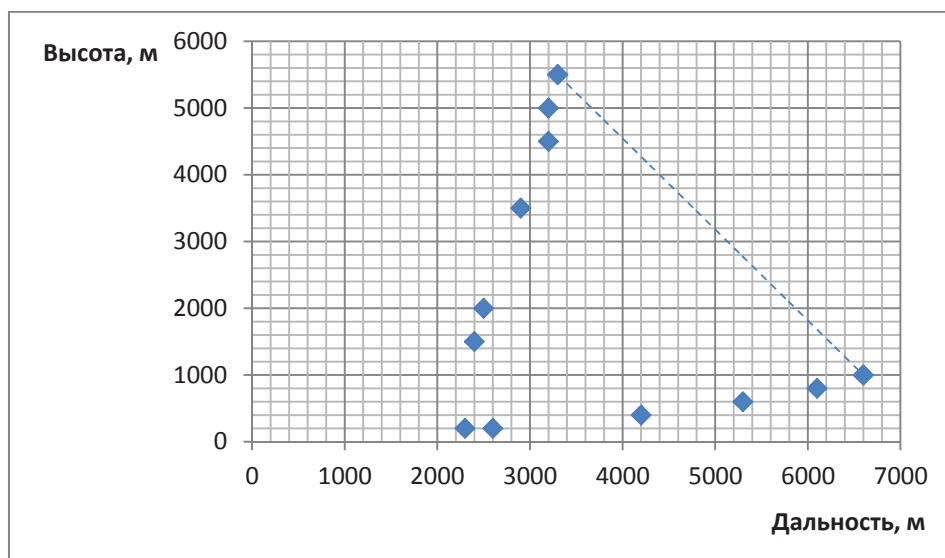


Рис. 6. Область гарантированного выхода на ТНО с заданной вероятностью $P_{\text{вых}} = 0,7$, при обнаружении ТНО с помощью ОЭС, МДВ = 15, линейный размер цели 15 м, вероятность обнаружения ТНО по ТЗ $P_{\text{обн}} = 0,8$ на дальности 8 км

Fig. 6. Area of guaranteed entering a typical ground object with the assigned probability $R_{\text{find}} = 0.7$ when detecting a TGO with optical and electronic means, MRV = 15, linear goal size 15 m, probability of TGO on detection according to a project requirements $R_{\text{find}} = 0.8$ distance 8 km

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате применения методики повышается качество испытаний и исследований с одновременным сокращением затрачиваемого времени на проведение испытаний, анализ и обработку материалов летных экспериментов.

Разработанная программа для ЭВМ снижает временные затраты испытателя на расчет показателей и подготовки материалов в акт в 3 раза за счет автоматизации и удобства использования. Позволяет выполнять расчеты, варьируя любые показатели, от которых зависит вероятность обнаружения ТНО в широком диапазоне их изменения.

Разработана новая методика расчета вероятности выхода на типовой наземный объект по известной дальности обнаружения объекта и по его линейным размерам. В методике и ее программной реализации учтена метеорологическая обстановка.

Оценка сходимости результатов расчетов с данными, полученными в ЛЭ на реальном тактическом фоне полигонов «А» и «Б», показывает, что относительное расхождение показателей при визуальном обнаружении объекта составляет менее 5 %. Кроме того, выполнена оценка сходимости с практическими данными, изложенными в РПАСОП ГА-91.

Предложены новые показатели эффективности – область возможного обнаружения ТНО и область гарантированного выхода на ТНО, которые позволяют выполнить сравнительную оценку возможностей ЛА по обнаружению ТНО в испытаниях.

Методика может быть использована в интересах проведения поисково-спасательных работ с борта летательного аппарата, а программная реализация при моделировании различных ситуаций по поиску и обнаружению наземных объектов в широком диапазоне изменения внешних условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Себряков Г.Г.** Характеристики деятельности человека-оператора в динамических системах слежения и наведения летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 11. С. 2–8.
2. **Себряков Г.Г.** Проблемы проектирования полуавтоматических систем наведения летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 10. С. 2–7.
3. **РПАСОП ГА-91.** Руководство по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР. М.: Министерство гражданской авиации, 1991. 192 с.
4. **Вентцель Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: КНОРУС, 2010. 192 с.
5. **Травникова Н.П.** Эффективность визуального поиска. М.: Машиностроение, 1985. 127 с.
6. **Гридчин В.С.** Развитие методов определения характеристик самолетов // Научно-технический сборник № 1 ГЛИЦ им. В.П. Чкалова. Ахтубинск, 1982. С. 45–48.
7. **Арбузов И.В., Болховитинов О.В.** Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.
8. **Себряков Г.Г., Татарников И.Б., Тюфлин Ю.С. и др.** Принципы создания универсальных систем визуализации комплексов моделирования для задач обучения, ситуационного анализа и тренажа // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. № 3. С. 48–50.
9. **Корсун О.Н., Лаврова Г.А., Себряков Г.Г.** Синтез 3D-аудиосигналов для звукового интерфейса перспективной кабины летательного аппарата // Всерос. науч.-техн. конф. «Моделирование авиационных систем»: материалы конф. М.: ФГУП ГосНИИАС, 2011. Т. 3. С. 452–458.
10. **Себряков Г.Г., Желтов С.Ю., Татарников И.Б.** Компьютерные технологии создания геопространственных трехмерных сцен, использующих комплексирование географической информации и синтезированных пользовательских данных // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 8. С. 2–10.
11. **Бобков А.Е., Леонов А.В.** Процедурная реконструкция территорий на виртуальном глобусе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 11. С. 10–17.
12. **Корсун О.Н., Семенов А.В.** Методика оценивания боковых отклонений при заходе на посадку гидросамолета А-40 «Альбатрос» по результатам летного эксперимента и моделирования // Проблемы безопасности полетов. 2005. № 7. С. 14–23.
13. **Корсун О.Н., Семенов А.В.** Методика определения характеристик устойчивости и управляемости высотного дозвукового самолета М-55 «Геофизика» по результатам летного эксперимента и моделирования // Полет. 2006. № 2. С. 22–29.

14. Николаев С.В. Оценивание устойчивости и управляемости авиационных комплексов с применением моделирования и идентификации // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 10. С. 71–84.
15. Корсун О.Н., Семенов А.В. Оценка пилотажных характеристик самолетов по результатам летного эксперимента, идентификации и моделирования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 7. С. 2–7.
16. Корсун О.Н., Тихонов В.Н. Определение пилотажных характеристик на основе моделирования экспертных оценок в системе «летчик – самолет» // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. Т. 6, № 2. С. 45–50.
17. Корсун О.Н., Поплавский Б.К. Структура методологии идентификации математических моделей самолетов по результатам летных испытаний // Авиационные технологии XXI века. IX международный научно-технический симпозиум ASTEC'07. М., 2007.
18. Овчаренко В.Н. Адаптивная идентификация параметров в динамических истатических системах // Автоматика и телемеханика. 2011. № 3. С. 113–123.
19. Корсун О.Н., Николаев С.В. Методика идентификации аэродинамических коэффициентов продольного движения самолета в эксплуатационном диапазоне углов атаки // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 4. С. 269–276.
20. Корсун О.Н., Николаев С.В. Идентификация аэродинамических коэффициентов самолетов в эксплуатационном диапазоне углов атаки // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 9. С. 3–10.
21. Набатчиков А.М., Бурлак Е.А. Анализ характеристик деятельности человека-оператора в динамическом контуре слежения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 11. С. 63–66.
22. Себряков Г.Г., Набатчиков А.М., Бурлак Е.А. Концептуальная модель объекта управления при формализации деятельности человека-оператора в динамическом контуре слежения // Шестая Всероссийская мультikonференция по проблемам управления: материалы мультikonференции: в 4 т. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. Т. 2. С. 95–100.
23. Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Красильщиков М.Н. и др. Использование нейросетевой модели управляющих действий летчика в интересах его индивидуально-адаптированной поддержки // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2015. № 4. С. 111.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Сергей Владимирович, кандидат технических наук, заместитель начальника научно-испытательного отдела 929 Государственного летно-испытательного центра МО РФ, nikozavr1978@yandex.ru.

TEST DETERMINATION OF PROBABILITY OF AIRBORNE DETECTION OF GROUND SURFACE OBJECTS

Sergey V. Nikolaev¹

¹929 State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Akhtubinsk, Russia

ABSTRACT

The article presents the methods, mathematical model and its software implementation for calculating the efficiency indicators of visual and hardware search and detection of ground objects from the aircraft. The methods differ from the

known ones in that they use modern information technologies and are adapted to solve practical test problems. In addition, finding values of the visual detection probability of ground objects in full-scale experiments is unrealizable due to the huge amount of required expenses. The proposed method allows estimating a particular efficiency indicator of an aircraft when searching for ground objects in the flight tests – the yield on a generic object. The developed mathematical model takes into account the known range of object detection by its linear dimensions. The software implementation allows performing calculations for different values of the meteorological situation. The convergence of simulation results and flight experiments is estimated. To determine the convergence, the results obtained in real flight tests on proof ground with different meteorological conditions were compared with the results of calculations obtained by modeling. The relative discrepancy between the indicators obtained in the flight experiment and calculated by the developed program is less than 5%.

The author proposes new private efficiency indicators for the visual detection task of typical ground objects. This is the area of possible detection of the ground object and the area of guaranteed access to it. These indicators allow performing a comparative assessment of the capabilities of aircraft to detect ground objects in tests. These indicators, unlike the known ones, have greater visibility and informational content.

The developed computer program reduces the time spent by the tester on the calculation of indicators and the preparation of materials to the act by 3 times due to automation and usability. It allows us to perform calculations by varying any indicators on which the probability of detecting a typical ground object in the wide range of their change depends on.

Key words: flight tests, detection of ground objects, probability of detection, aircraft.

REFERENCES

1. Sebrjakov G.G. *Harakteristiki dejatel'nosti cheloveka-operatora v dinamicheskikh sistemah slezhenija i navedenija letatel'nyh apparatov* [Characteristics of human operator in dynamic systems of tracking and guidance of aircraft]. Herald of Computer and Information Technologies, 2007, № 11, pp. 2–8. (in Russian)
2. Sebrjakov G.G. *Problemy proektirovanija poluavtomaticheskikh sistem navedenija letatel'nyh apparatov* [Problems of designing semi-automatic guidance systems for aircraft]. Herald of Computer and Information Technologies, 2007, № 10, pp. 2–7. (in Russian)
3. RPASOP GA-91. *Rukovodstvo po poiskovomu i avarijno-spasatel'nomu obespecheniju poletov grazhdanskoj aviacii SSSR* [Guide to search and rescue services for civil aviation flights of the USSR]. M., The Ministry of Civil Aviation, 1991, 192p. (in Russian)
4. Ventcel' E.S. *Rukovodstvo po poiskovomu i avarijno-spasatel'nomu obespecheniju poletov grazhdanskoj aviacii SSSR* [Research of operations: tasks, principles, methodology]. M., KNORUS, 2010, 192 p.
5. Travnikova N.P. *Issledovanie operacij: zadachi, principy, metodologija* [Efficiency of visual search]. M., Mechanical engineering, 1985, 127 p. (in Russian)
6. Gridchin V.S. *Razvitie metodov opredelenija harakteristik samoletov* [Development of methods for determining the characteristics of aircraft]. Scientific and Technical Digest No. 1 GLITS them. V.P. Chkalov. Akhtubinsk, 1982, pp. 45–48. (in Russian)
7. Arbuzov I.V., Bolhovitinov O.V. *Boevye aviacionnye komplekсы i ih jeffektivnost'* [Combat aviation complexes and their effectiveness]. M., Zhukovsky Air Force Engineering Academy, 2008, 224 p. (in Russian)
8. Sebrjakov G.G., Tatarnikov I.B., Tjuflin Ju.S. *Principy sozdaniya universal'nyh sistem vizualizacii kompleksov modelirovanija dlja zadach obuchenija, situacionnogo analiza i trenazha* [The principles of creating universal systems for visualization of modeling complexes for learning tasks, situational analysis and training]. Herald of Computer and Information Technologies, 2006, № 3, pp. 48–50. (in Russian)
9. Korsun O.N., Lavrova G.A., Sebrjakov G.G. *Sintez 3D-audiosignalov dlja zvukovogo interfejsa perspektivnoj kabiny letatel'nogo apparata* [Synthesis of 3D-audio signals for the sound interface of a prospective aircraft cabin]. Vseros. scientific-techn. conf. "Modeling of aviation systems": materials of conf. Moscow, FSUE GosNIIAS, 2011, Vol. 3, pp. 452–458. (in Russian)
10. Sebrjakov G.G., Zheltov S.Ju., Tatarnikov I.B. *Komp'juternye tehnologii sozdaniya geoprostranstvennyh trehmernykh scen, ispol'zujushhih kompleksirovanie geograficheskoj informacii i sinte-*

zirovannyh pol'zovatel'skih dannyh [Computer technologies for creation of geo-spatial three-dimensional scenes using the combination of geographic information and synthesized user data]. Aero-space Instrumentation, 2003, № 8, pp. 2–10. (in Russian)

11. Bobkov A.E., Leonov A.V. *Procedurnaja rekonstrukcija territorij na virtual'nom globuse* [Procedural reconstruction of territories on a virtual globe]. Herald of computer and information technologies, 2015, № 11, pp. 10–17. (in Russian)

12. Korsun O.N., Semenov A.V. *Metodika ocenivaniya bokovyh otklonenij pri zahode na posadku gidrosamoleta A-40 «Al'batros» po rezul'tatam letnogo jeksperimenta i modelirovaniya* [Methodology for assessing lateral deviations during the landing of the A-40 "Albatross" seaplane according to the results of the flight experiment and simulation]. Problems of flight safety, 2005, № 7, pp. 14–23. (in Russian)

13. Korsun O.N., Semenov A.V. *Metodika opredelenija harakteristik ustojchivosti i upravljaemosti vysotnogo dozvukovogo samoleta M-55 «Geofizika» po rezul'tatam letnogo jeksperimenta i modelirovaniya* [A technique for determining the stability and controllability characteristics of a high-altitude subsonic aircraft M-55 "Geophysics" based on the results of a flight experiment and modeling]. Polet, 2006, № 2, pp. 22–29. (in Russian)

14. Nikolaev S.V. *Ocenivanie ustojchivosti i upravljaemosti aviacionnyh kompleksov s primenieniem modelirovaniya i identifikacii* [Estimation of the stability and controllability of aviation complexes with the use of modeling and identification]. Aviakosmicheskoe instrument-making, 2015, №10, pp. 71–84. (in Russian)

15. Korsun O.N., Semenov A.V. *Ocenka pilotazhnyh harakteristik samoletov po rezul'tatam letnogo jeksperimenta, identifikacii i modelirovaniya* [Evaluation of the piloting characteristics of aircraft based on the results of the flight experiment, identification and modeling]. Herald of Computer and Information Technologies, 2007, № 7, pp. 2–7. (in Russian)

16. Korsun O.N., Tihonov V.N. *Opredelenie pilotazhnyh harakteristik na osnove modelirovaniya jekspertnyh ocenok v sisteme «letchik – samolet»* [Determination of flight characteristics on the basis of modeling of expert estimates in the "pilot-plane" system]. Information-measuring and control systems, 2008, Vol. 6, № 2, pp. 45–50. (in Russian)

17. Korsun O.N., Poplavskij B.K. *Struktura metodologii identifikacii matematicheskikh modelej samoletov po rezul'tatam letnyh ispytanij* [The structure of the methodology for the identification of mathematical models of airplanes based on the results of flight tests]. Aviation technologies of the XXI century. IX International Scientific and Technical Symposium ASTEC'07. Moscow, 2007. (in Russian)

18. Ovcharenko V.N. *Adaptivnaja identifikacija parametrov v dinamicheskikh istaticeskikh sistemah* [Adaptive identification of parameters in dynamic istatic systems]. Automation and telemechanics, 2011, № 3, pp. 113–123. (in Russian)

19. Korsun O.N., Nikolaev S.V. *Metodika identifikacii ajerodinamicheskikh kojefficientov prodol'nogo dvizhenija samoleta v jekspluacionnom diapazone uglov ataki* [A technique for identifying the aerodynamic coefficients of longitudinal motion of an aircraft in the operational range of attack angles]. Mechatronics, Automation, Control, 2015, Vol. 16, № 4, pp. 269–276. (in Russian)

20. Korsun O.N., Nikolaev S.V. *Identifikacija ajerodinamicheskikh kojefficientov samoletov v jekspluacionnom diapazone uglov ataki* [Identification of aerodynamic coefficients of aircraft in the operational range of attack angles]. Herald of Computer and Information Technologies, 2016, № 9, pp. 3–10. (in Russian)

21. Nabatchikov A.M., Burlak E.A. *Analiz harakteristik dejatel'nosti cheloveka-operatora v dinamicheskom konture slezhenija* [Analysis of the characteristics of the human operator in the dynamic tracking loop]. Mechatronics, automation, management, 2013, № 11, pp. 63–66. (in Russian)

22. Sebrjakov G. G., Nabatchikov A. M., Burlak E. A. *Konceptual'naja model' ob#ekta upravlenija pri formalizacii dejatel'nosti cheloveka-operatora v dinamicheskom konture slezhenija* [A conceptual model of the control object in the formalization of human operator activity in a dynamic

tracking loop]. 6th All-Russian Multiconference on Management Problems. Multiconference Proceeding. Rostov-on-Don, The Publishing House of the Southern Federal University, 2013, Vol. 2, pp. 95–100. (in Russian)

23. Evdokimenkov V.N., Kim R.V., Krasil'shnikov M.N. *Ispol'zovanie nejrosetevoj modeli upravljajushhih dejstvij letchika v interesah ego individual'no-adaptirovannoj podderzhki* [The use of a neural network model of pilot actions in the interests of its individually adapted support]. Izvestiya of Russian Academy of science. Theory and control systems, 2015, № 4, p. 111. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sergey V. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Scientific and Testing Department, 929 State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Akhtubinsk, Russia, nikozavr1978@yandex.ru.

Поступила в редакцию 25.08.2017
Принята в печать 20.09.2017

Received 25.08.2017
Accepted for publication 20.09.2017