

УДК 629. 73. 018. 7

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-78-93

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ИСПЫТАНИЯХ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОНТАКТ С ВОЗДУШНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

С.В. НИКОЛАЕВ<sup>1</sup>, А.А. ТИХОНОВ<sup>1</sup>, Д.С. МЕРЕНЦОВ<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>929 Государственный летно-испытательный центр МО РФ, г. Ахтубинск, Россия*

В статье представлена методика определения в летных испытаниях вероятности выхода летательного аппарата в информационный контакт с воздушными объектами. В основе методики лежит опытно-теоретический метод испытаний, базирующийся на применении математического моделирования. Методика отличается от известных тем, что использует современные информационные технологии, и принятая в ней математическая модель реализована в виде программы для ЭВМ. Кроме того, нахождение данного показателя эффективности в летных экспериментах нецелесообразно из-за существенных ресурсных затрат. Данная методика пригодна для практических целей испытаний и позволяет определить показатель эффективности летательного аппарата при поиске воздушных объектов – вероятность выхода в информационный контакт с типовым воздушным объектом. Представленная программа для ЭВМ обеспечивает выполнение расчетов показателя выхода для различных значений и сочетаний, влияющих на результат факторов. Выполнено моделирование и получены вероятности выхода летательного аппарата в информационный контакт с типовыми воздушными объектами в заданных условиях. Представлены результаты исследований влияния на вероятность выхода в информационный контакт групп факторов: характеристик летательного аппарата, характеристик воздушного объекта и качество исходной информации о нем, условия поиска. В результате работы установлены основные закономерности при решении задачи выхода летательного аппарата в информационный контакт с воздушным объектом. Созданная в рамках методики программа для ЭВМ обладает современным графическим интерфейсом и позволяет сократить время, затрачиваемое исследователем на обработку результатов испытаний. Разработанная методика позволяет выполнить сравнительную оценку возможностей летательных аппаратов по обнаружению воздушных объектов в испытаниях.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Результатом выхода летательного аппарата (ЛА) в информационный контакт (ИК) с воздушным объектом – целью является обнаружение его бортовыми средствами или визуально. В качестве показателя эффективности при этом целесообразно использовать вероятность выхода в ИК. Под выходом в ИК понимается такое взаимное положение ЛА и цели, при котором обеспечивается обнаружение цели бортовыми средствами ЛА.

В настоящее время при проведении летных испытаний (ЛИ) вероятность выхода в ИК не определяется по ряду причин и принимается равной единице. Нахождение данного показателя непосредственно в натурных работах крайне затруднено из-за большого количества потребных затрат на организацию и выполнение летных экспериментов, поэтому для определения вероятности выхода в ИК необходимо использовать метод моделирования, неплохо зарекомендовавший себя в ходе летных испытаний [1–4]. В данной работе в рамках метода принимается математическая модель для расчета вероятности выхода, которая предусматривает учет точностных характеристик начальной информации о цели, ошибок ее передачи, времени старения информации, маневра цели, поисковых возможностей ЛА и т. д. Кроме того, на языке программирования C# [5–8] создается программная реализация модели, использующая при расчетах исходные данные, в том числе полученные в испытательных полетах. Это позволяет выполнять расчеты при любом сочетании и количестве учитываемых характеристик.

Существующие методики определения показателей эффективности при обнаружении объектов [9–11] не подходят для получения вероятностей по выходу ЛА в ИК с воздушным объектом, кроме того, они не используют возможностей современных компьютерных технологий [12, 13]. В этой связи разработка нового, современного алгоритмического, программного и методического обеспечения [1, 3, 4] является актуальной задачей.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для успешного решения поставленной задачи – определения эффективности выхода ЛА в информационный контакт с воздушным объектом необходимо разработать новую методику, позволяющую в процессе летных испытаний ЛА получать вероятности его выхода в информационный контакт ( $P_{\text{ВЫХ}}^{\text{ИК}}$ ) с воздушным объектом.

В рамках методики должна быть разработана математическая модель и ее программная реализация для ЭВМ, позволяющая рассчитать вероятность выхода ЛА в информационный контакт с целью по исходным данным, полученным в ЛИ.

Существующий подход к оценке показателя  $P_{\text{ВЫХ}}^{\text{ИК}}$  только в натурном эксперименте (фактическое число успешных выходов в ИК) требует существенных временных и ресурсных затрат и недостаточно достоверен ввиду малого количества реализаций. Поэтому в летных испытаниях оценить вероятность выхода в зависимости от условий полета, параметров движения и взаимного положения ЛА и цели невозможно.

В этой связи показатель вероятности выхода в ИК лучше всего определять, используя математическое моделирование, поскольку исследователь сам может варьировать в модели параметры, влияющие на искомый показатель. Такой подход обеспечивает возможность получения вероятности выхода в ИК при любых внешних условиях.

В предлагаемой методике определения эффективности ЛА при выходе в ИК используются известные методы теории вероятностей – «прямолинейные полосы» и «сетки рассеивания» [14].

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

Математическая модель, используемая в данной методике, базируется на известных подходах к моделированию поиска объектов [10, 11, 14, 15] и создана с использованием предложенного в [10, 11, 14, 15] математического аппарата. Указанная модель содержит ряд наработок, используемых при создании моделирующих комплексов и стендов [12, 13]. В случаях, когда требуется уточнение модели в части аэродинамических характеристик конкретного типа ЛА, используются методы идентификации аэродинамических характеристик ЛА по результатам натурных работ [19–21]. При необходимости более подробного анализа влияния различных факторов на вероятность выхода ЛА в ИК использованы методы, подробно изложенные в [10, 11].

В настоящей методике предложен следующий алгоритм определения вероятности выхода в ИК:

- определение (построение) области возможных положений цели (ОВПЦ);
- определение (построение) поисковой зоны ЛА;
- сопоставление поисковой зоны с ОВПЦ и вычисление вероятности выхода в ИК.

Вычисление  $P_{\text{ВЫХ}}$  выполняется с помощью численного интегрирования с применением так называемых «сеток рассеивания» [16–18]. Сетка рассеивания в данном случае представляет собой систему линий, делящих ОВПЦ на отдельные ячейки, вероятность попадания в которые определяется в зависимости от расположения ячейки относительно центра рассеивания. Для

практических расчетов могут использоваться табличные значения вероятности попадания в ячейки квадратной сетки соответствующих размеров [14–16].

Для определения (построения) ОВПЦ сначала находим среднее квадратичное отклонение курсового угла цели, которое берется из ЛЭ, а при отсутствии необходимого числа ЛЭ может быть рассчитано.

Основные формулы, составляющие математическую модель (ММ), представлены ниже.

$$\Delta\psi_{\text{п}} = \frac{L}{R_3 \cos \phi};$$

$$\bar{f}_1(\bar{\psi}_1) = \frac{1}{2(\bar{b}_1 - \bar{a}_1)} \left[ \Phi\left(\frac{\bar{b}_1 - \bar{\psi}_1}{\sqrt{2}}\right) - \Phi\left(\frac{\bar{a}_1 - \bar{\psi}_1}{\sqrt{2}}\right) \right];$$

$$\bar{a}_1 = \frac{-\Delta\psi_{\text{м}}}{\sigma\psi_0}, \quad \bar{b}_1 = \frac{\Delta\psi_{\text{м}}}{\sigma\psi_0};$$

$$\sigma\psi_1 = (1/\bar{f}_1(0)\sqrt{2\pi})\sigma\psi_0;$$

$$\bar{f}_2(\bar{\psi}_2) = \frac{1}{2(\bar{b}_2 - \bar{a}_2)} \left[ \Phi\left(\frac{\bar{b}_2 - \bar{\psi}_2}{\sqrt{2}}\right) - \Phi\left(\frac{\bar{a}_2 - \bar{\psi}_2}{\sqrt{2}}\right) \right];$$

$$\bar{a}_2 = \frac{-\Delta\psi_{\text{п}}}{\sigma\psi_1},$$

$$\bar{b}_2 = \frac{\Delta\psi_{\text{п}}}{\sigma\psi_1};$$

$$\sigma\psi_2 = (1/\bar{f}_2(0)\sqrt{2\pi})\sigma\psi_1,$$

где  $\bar{\psi}$  – угол курса, град.;

$\bar{f}_1(\bar{\psi}_1)$  – нормированная функция плотности распределения курса;

$\sigma\psi_1$  – среднее квадратическое отклонение (СКО) курса в композиции законов распределения начального курса и его изменений при маневре цели;

$\bar{f}_2(\bar{\psi}_2)$  – нормированная функция плотности распределения курса;

$\sigma\psi_2$  – результирующее СКО курса (в композиции полученного закона распределения и закона изменений курса при передаче информации);

$\pm \Delta\psi_{\text{п}}$  – максимальная ошибка в передаче информации о цели;

$R_3$  – радиус Земли (6371 км);

$L$  – расстояние по параллели между передающим и принимающим информацию;

$\phi$  – широта местности, где выполняется выход в ИК;

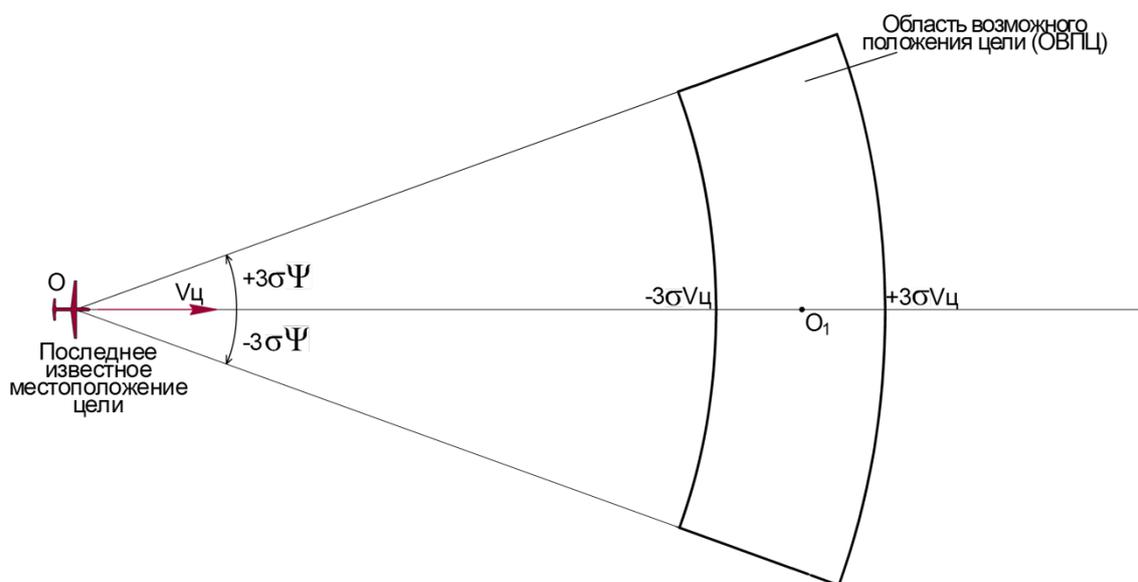
$\pm \Delta\psi_{\text{м}}$  – максимальные изменения курса при маневрировании цели;

$\Phi$  – табличная функция Лапласа;

$\sigma\psi_0$  – СКО начального курса цели.

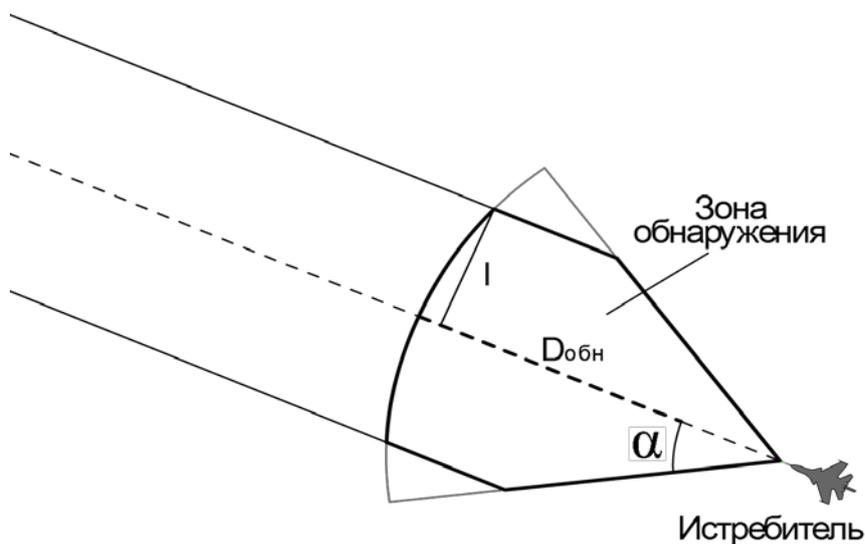
Этапы алгоритма схематично показаны на рис. 1–3, при этом принимается следующее.

ОВПЦ строится с учетом СКО курса и скорости цели, полагая, что информация о цели получена при нахождении ее в точке О (рис. 1). Относительно генерального направления полета цели строятся курсовые лучи в диапазоне  $\pm 3$  СКО курсового угла.



**Рис. 1.** Схема построения ОВПЦ  
**Fig. 1.** Scheme of the construction of the target possible position

Поисковая зона ЛА строится с учетом дальности обнаружения цели (в зависимости от ЭПР) и угловых размеров зоны обзора БРЛС по азимуту. Края зоны обрезают (рис. 2) из такого расчета, чтобы цель находилась в поисковой зоне заданное количество времени, что связано с необходимостью ее обнаружения, опознавания и постановкой на сопровождение.



**Рис. 2.** Схема построения поисковой зоны  
**Fig. 2.** Scheme of construction of the search area

На ОВПЦ наносят линию пути ЛА соответственно линии краев поисковой зоны (зона «перекрытия»). Таким образом, получают обследованную часть ОВПЦ (рис. 3). При отсутствии ограничений ЛА по курсовому углу цели вероятность выхода определяют суммированием элементарных вероятностей (табличных значений вероятностей ячеек сетки рассеивания), принадлежащих обследованной части ОВПЦ.

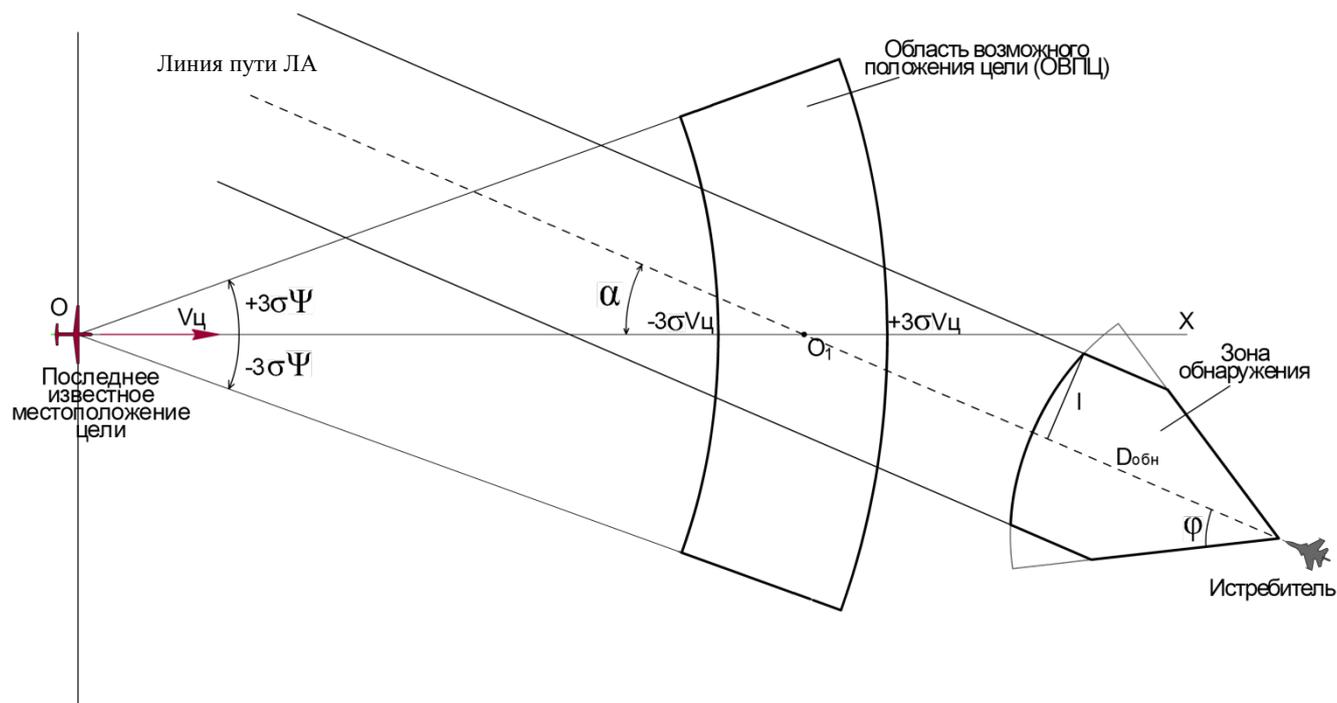


Рис. 3. Схема построения зоны перекрытия  
Fig. 3. The scheme for constructing the overlap zone

Далее ОВПЦ представляют в виде криволинейной сетки рассеивания (рис. 4) с ячейками размерами  $0,01\sigma_{\Psi 2}$  на  $0,01\sigma_{V_{ц}}$ . ОВПЦ строится в диапазоне  $-3\cdot\sigma_{\Psi 2} \dots 3\cdot\sigma_{\Psi 2}$ ,  $-3\cdot\sigma_{V_{ц}} \dots 3\cdot\sigma_{V_{ц}}$  по нормальному закону распределения относительно математического ожидания положения цели (точка  $m_{O1} = V_{ц}\tau_{в}$  – математическое ожидание координат цели через время выхода в точке  $O_1$ ), через время  $\tau_{в}$ , полагая, что информация о цели получена при нахождении ее в точке O.

$$\tau_{в} = -\frac{D_{н} - D_{обн}}{\dot{D}_{ср}},$$

где  $D_{обн}$  – дальность обнаружения цели (из ЛЭ);  
 $D_{н}$  – начальная дальность между истребителем и целью;  
 $\dot{D}_{ср}$  – средняя скорость сближения при поиске.

Определение половины ширины поля обзора ведущей информационной системы (ВИС) выражается следующим образом.

$$l = (D - t_{обн} \cdot V_{ср}^{истр}) \cdot tg\phi,$$

где  $D$  – дальность обнаружения цели;  
 $t_{обн}$  – время потребное для обнаружения цели;  
 $V_{ср}^{истр}$  – средняя скорость истребителя;  
 $\phi$  – половина угла поля обзора ВИС.

Вероятность выхода ЛА в ИК с целью определяется после сопоставления поисковой зоны с ОВПЦ, построенных в одном и том же масштабе. ОВПЦ строится один раз и используется для различных расчетных условий. Масштаб поисковой зоны меняется в зависимости от  $\tau_{р}$ .

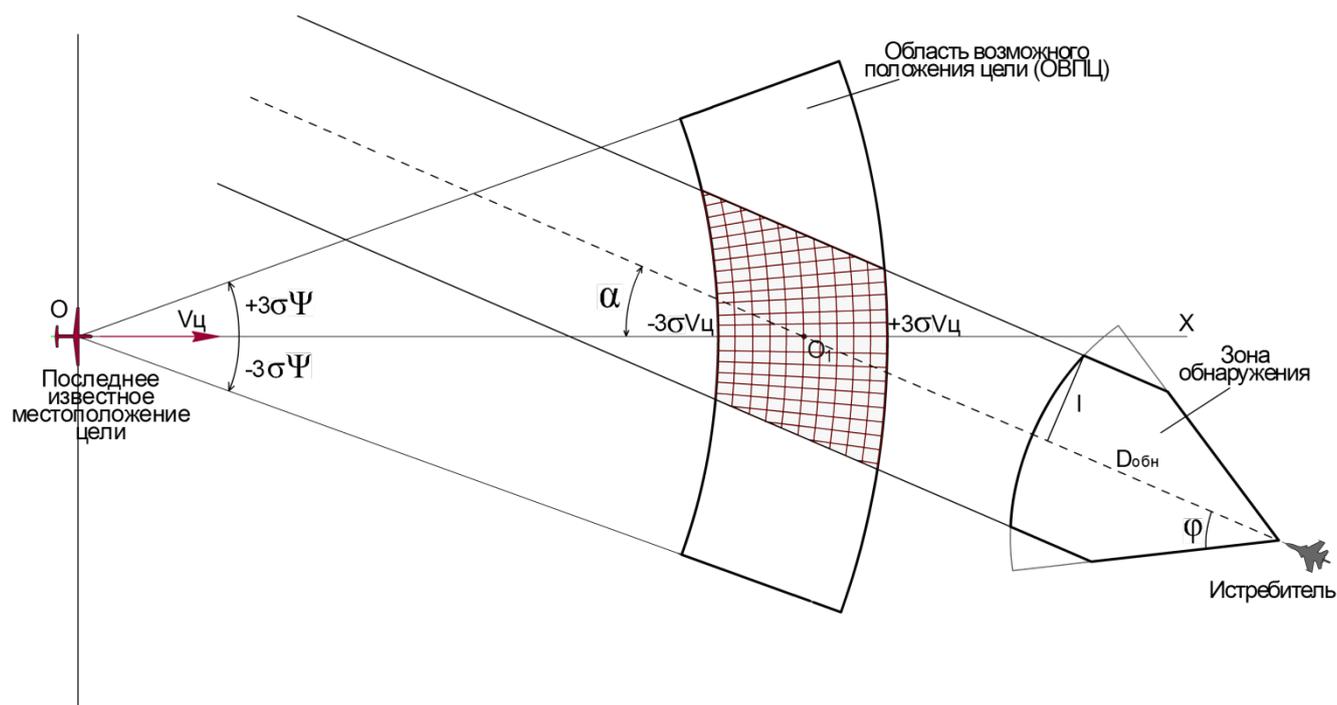


Рис. 4. Общая схема определения вероятности выхода в ИК  
Fig. 4. General scheme for determining the probability of an exit into an information contact

Принадлежность конкретной ячейки к обследованной зоне можно определить геометрически по критерию ее нахождения между линиями, характеризующими границы этой зоны.

Для каждой ячейки существует вероятность нахождения в ней цели, которая получается в результате произведения вероятностей нахождения цели в заданных интервалах по  $\psi$  или  $V_{ц}$ . Сумма вероятностей нахождения цели во всех ячейках ОВПЦ

$$P_{\text{ОВПЦ}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P_{ij} = 0,994,$$

где  $P_{ij}$  – вероятность нахождения цели в конкретной ячейке.

Искомая вероятность выхода в ИК определяется суммированием элементарных вероятностей (табличных значений вероятностей ячеек сетки рассеивания), принадлежащих обследованной части ОВПЦ.

$$P_{\text{вых}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P_{ij}^*,$$

где  $P_{ij}^*$  – вероятность нахождения цели в конкретной ячейке, попавшей в обследованную зону.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для расчета показателя эффективности выхода ЛА в информационный контакт с воздушным объектом и представления результатов его испытаний в оптимальном для работы испытателя виде, разработана программа для ЭВМ, в основу которой легла математическая модель, описанная выше.

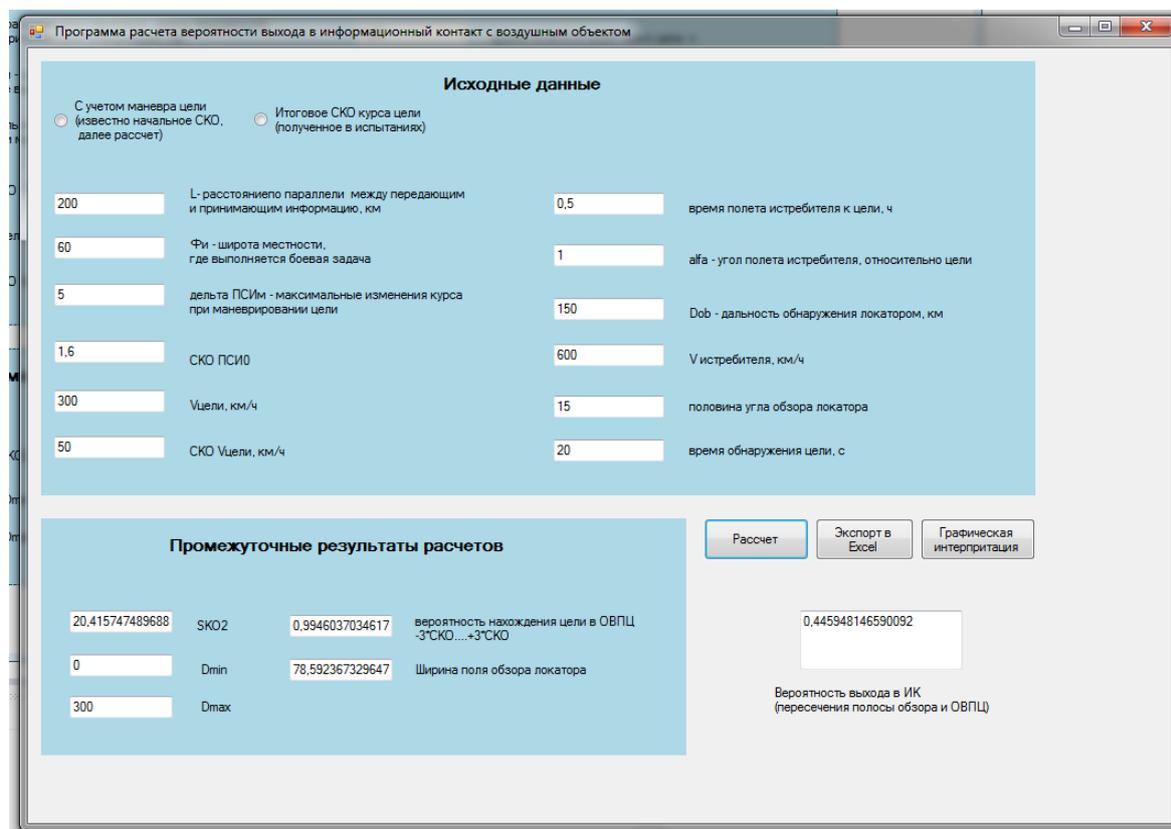


Рис. 5. Интерфейс разработанной программы  
Fig. 5. The developed program interface

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

- расчет вероятности выхода в информационный контакт с воздушным объектом;
- расчет вспомогательных параметров, необходимых для качественного анализа результатов моделирования;
- экспорт результатов расчетов в таблицу Excel;
- графическая интерпретация процесса выхода в ИК.

Программная реализация используется в программно-аппаратном комплексе для исследований и оценивания в испытаниях характеристик авиационных комплексов [22].

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В табл. 1 представлены некоторые результаты моделирования вероятности выхода ЛА в ИК с некоторыми типовыми воздушными объектами (ТВО). Исходные данные по характеристикам ТВО взяты по материалам открытых источников в сети Интернет.

Таблица 1  
Table 1

Результаты расчета вероятности выхода ЛА в ИК с типовыми целями  
The results of calculating the probability of an aircraft exit into information contact with typical purposes

	Выход ЛА в ИК с целью типа <b>F-35</b>	Выход ЛА в ИК с целью типа <b>B-1B</b>	Выход ЛА в ИК с целью типа <b>Tomahawk</b>
<b>Исходные данные по цели</b>			
Скорость	$V_{F-35} = 1000 \pm 200$ км/ч	$V_{B-1B} = 1100 \pm 300$ км/ч	$V_{Тома} = 880 \pm 30$ км/ч
Изменение курса	$\Psi = \Psi_0 \pm 15^\circ$	$\Psi = \Psi_0 \pm 15^\circ$	$\Psi = \Psi_0 \pm 30^\circ$
ЭПР	$S_{F-35} = 3,4$	$S_{B-1B} = 13$	$S_{Тома} = 0,1$
Дальность обнаружения	$D_{обн F-35} = 162$ км	$D_{обн B-1B} = 318$ км	$D_{обн Тома} = 28$ км
<b>Параметры решения задачи</b>			
Время полета ЛА до цели ( $t_{вых}$ )	0,3 ч	0,3 ч	0,3 ч
Угол полета цели относительно ЛА ( $\alpha$ )	0	0	0
Половина угла обзора ВИС ( $\varphi$ )	30 град.	30 град.	30 град.
Время обнаружения ( $t_{обн}$ )	20 с	20 с	20 с
Скорость полета ЛА	1000 км/ч	1000 км/ч	1000 км/ч
<b>Вероятность выхода</b>	<b>0,57</b>	<b>0,79</b>	<b>0,07</b>

Кроме того, на рис. 6–11 показаны результаты исследований влияния на вероятность выхода в ИК параметров различных факторов и их сочетаний. Эти рисунки иллюстрируют зависимость искомого показателя от наиболее важных параметров, характеризующих условия решения задачи: СКО курса цели, скорости цели, СКО скорости цели, зоны обзора ЛА, дальности обнаружения. При моделировании влияния параметров на вероятность выхода в ИК использован следующий набор исходных данных: СКО  $\Psi = 15^\circ$ ,  $V_{ц} = 600$  км/ч, СКО  $V_{ц} = 50$  км/ч,  $t_{вых} = 0,3$  ч,  $\varphi = 15^\circ$ ,  $t_{обн} = 20$  с,  $D_{обн} = 150$  км.

В результате исследований установлены следующие основные закономерности при решении задачи выхода в ИК.

Изменение СКО курса цели существенно влияет на вероятность успешного выхода в ИК, поскольку приводит к значительному увеличению размеров ОВПЦ. Разработанная модель позволила получить зависимость  $P_{вых}$  от изменения СКО курса цели в широком диапазоне (от 0 до 60 градусов). Видно (рис. 6), что большие значения СКО курса цели приводят к снижению  $P_{вых}$  до недопустимо малого уровня ( $< 0,5$ ), однако следует отметить, что такие значения могут быть получены либо при активном маневрировании цели, либо при грубых измерениях ее курса. В то же время минимальное значение СКО курса цели приводит к тому, что вся ОВПЦ может быть накрыта поисковой зоной ЛА, то есть  $P_{вых} \rightarrow 1$ .

Увеличение скорости цели (рис. 7) приводит к значительному снижению  $P_{вых}$ . Это обусловлено тем, что при увеличении скорости цели в еще большей степени на ОВПЦ будет сказываться СКО курса цели (чем больше скорость цели, тем больше удаление от начальной точки и больше расхождение по курсу, даже при одном значении СКО курса).

При увеличении СКО скорости цели (рис. 8) (увеличение ошибки измерения или диапазона скоростей полета ВЦ) происходит снижение  $P_{вых}$ , но в меньшей степени, чем при увеличении самой скорости цели или СКО ее курса. При этом видно, что даже точное измерение скорости цели не приводит к высокой вероятности выхода в МК. Это объясняется тем, что в условиях

решаемой задачи, в любых условиях ЛА проходит через центр ОВПЦ в переднюю полусферу цели, что соответствует наиболее вероятному положению цели в пространстве.



Рис. 6. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт  
Fig. 6. The results of modeling the probability of an exit into information contact

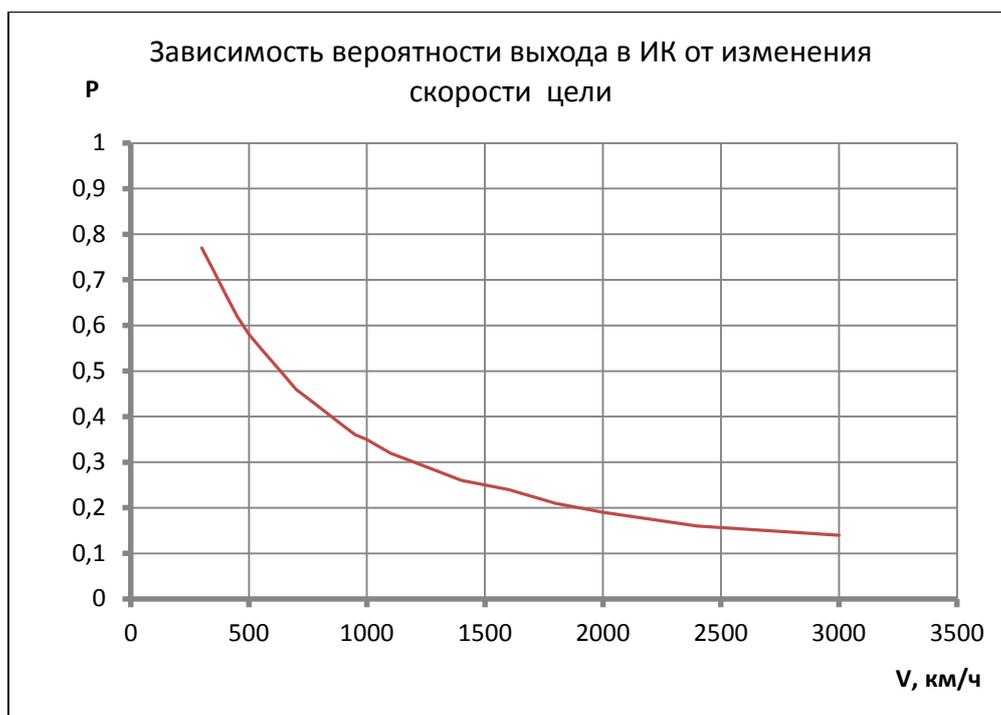


Рис. 7. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт

Fig. 7. The results of modeling the probability of an exit into information contact

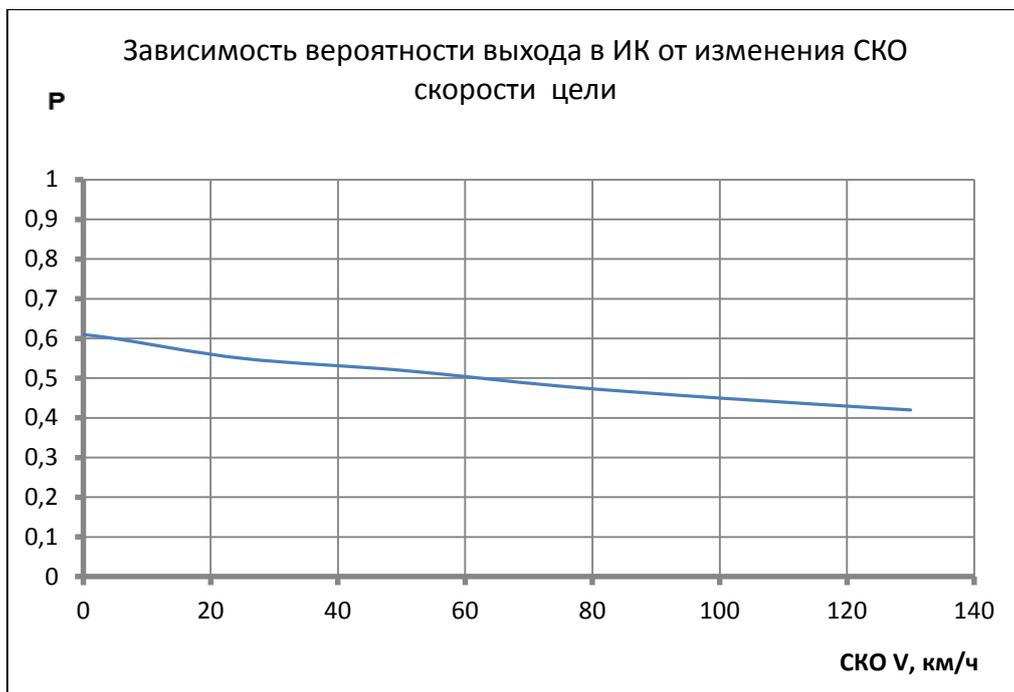


Рис. 8. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт  
Fig. 8. The results of modeling the probability of an exit into information contact

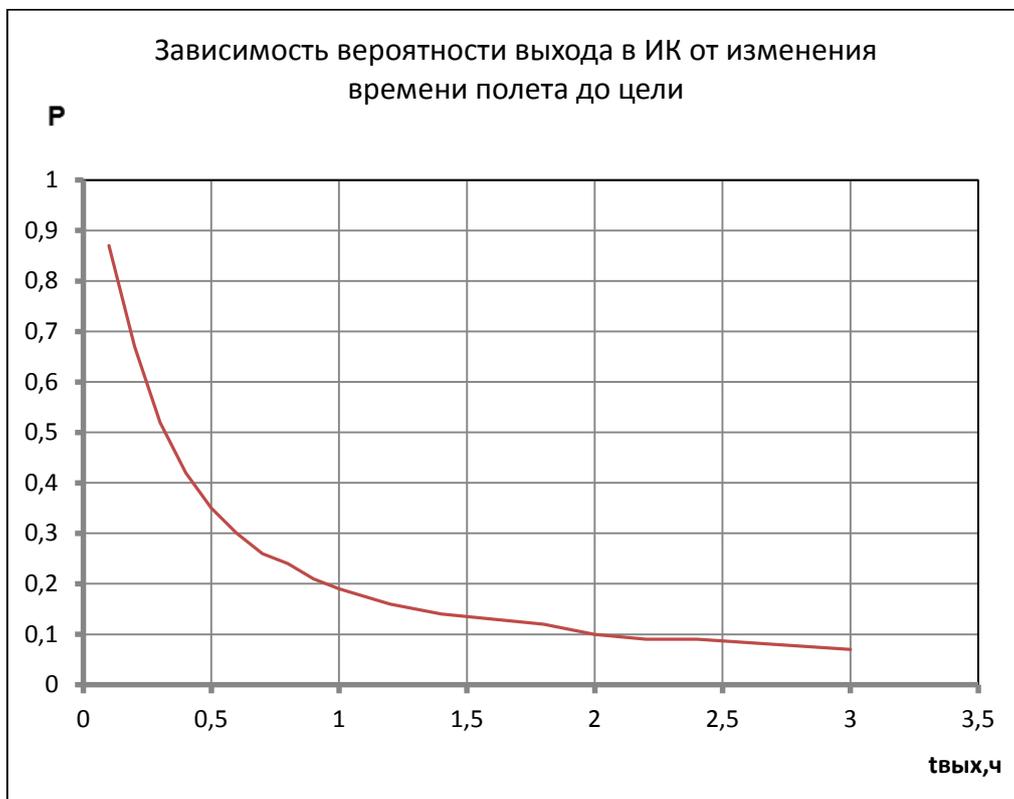


Рис. 9. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт  
Fig. 9. The results of modeling the probability of an exit into information contact

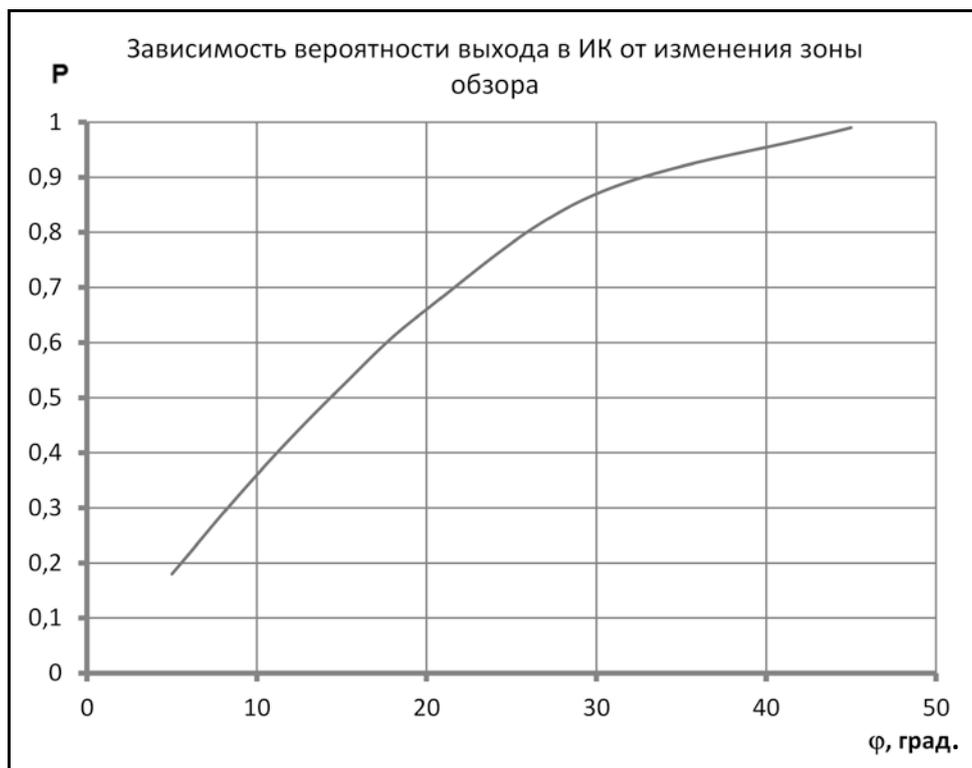


Рис. 10. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт  
Fig. 10. The results of modeling the probability of an exit into information contact

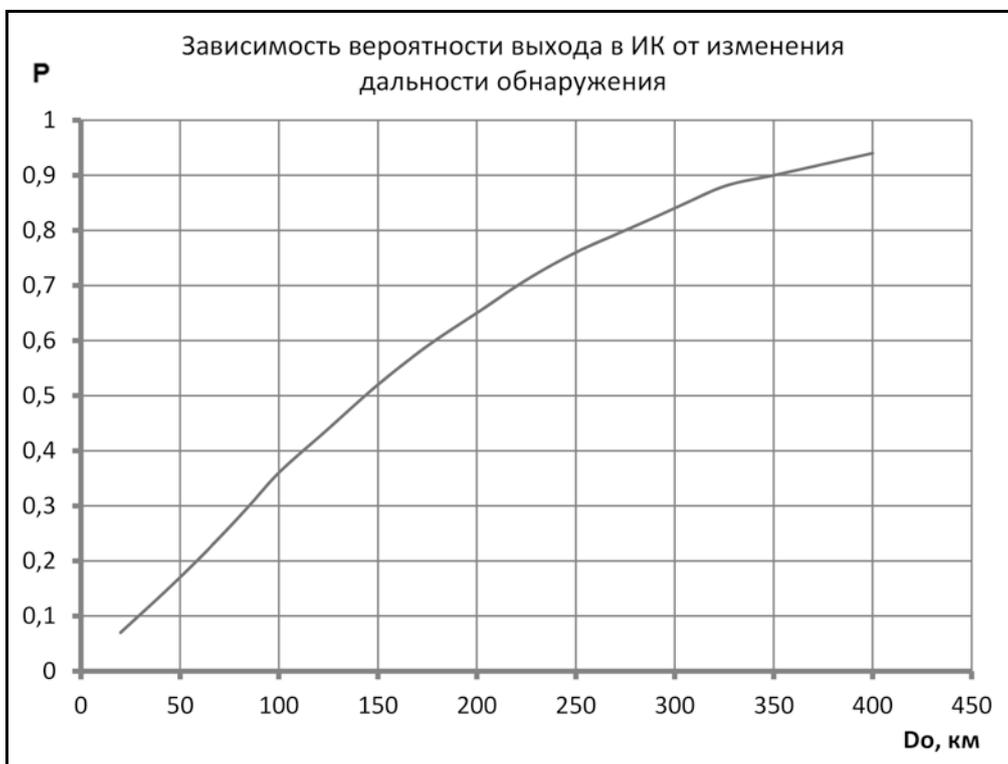


Рис. 11. Результаты моделирования вероятности выхода в информационный контакт  
Fig. 11. The results of modeling the probability of an exit into information contact

Существенное влияние на  $P_{\text{вых}}$  оказывает увеличение времени полета ЛА до цели ( $t_{\text{вых}}$ ). Из графика видно (рис. 9), что при наименьших значениях времени полета до цели  $P_{\text{вых}}$  имеет наибольшее значение. При больших значениях  $t_{\text{вых}}$  исследуемая зависимость асимптотически приближается к 0, но не приравнивается к нему. Объясняется это тем, что  $P_{\text{вых}}$  можно представить графически пересечением (наложением) ОВПЦ и полосой поиска истребителя. Полоса поиска является постоянной, а ОВПЦ со временем увеличивается в площади и расходится по курсу. При этом полоса поиска всегда проходит через центр ОВПЦ, поэтому даже при больших значениях  $t_{\text{вых}}$  искомая вероятность не будет равна 0.

Расширение ширины зоны обзора (угла обзора) приводит к существенному повышению  $P_{\text{вых}}$  (рис. 10). При больших значениях угла зоны обзора ( $> 30$  градусов) и достаточной дальности обнаружения можно добиться  $P_{\text{вых}}$  близкой к 1, что соответствует полному (почти полному) накрытию ОВПЦ полосой обзора. Однако угол обзора считается постоянным, а значит и полоса обзора имеет постоянную величину для конкретного типа ВЦ, а ОВПЦ для одной цели меняется в течение времени выхода, и в конечном счете решающее значение будет иметь  $t_{\text{вых}}$ .

Влияние дальности обнаружения (рис. 11) аналогично расширению зоны обзора, т. к. обе эти величины определяют ширину зоны поиска, которая является постоянной.

Таким образом, установлено, что на показатель  $P_{\text{вых}}$  оказывают влияние три группы факторов: характеристики ЛА, характеристики цели и качество исходной информации о ней, условия поиска.

Положительное влияние на  $P_{\text{вых}}$  оказывают характеристики ЛА и благоприятные условия поиска, т. е. большая дальность обнаружения и большая зона обзора, малое время выхода в район предполагаемого положения цели. Отрицательное влияние оказывают маневренные характеристики цели или характер ее действий, качество информации, по которой наводится ЛА.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика позволяет существенно повысить качество испытаний, сократить время на анализ полученных материалов, проводить исследования эффективности летательных аппаратов.

Разработана новая методика расчета вероятности выхода в информационный контакт с воздушными объектами. С помощью программной реализации получены вероятности выхода ЛА в информационный контакт с воздушными объектами типа F-35, B-1B, Tomahawk. При принятых условиях моделирования вероятности составили 0,57, 0,79, 0,07 соответственно. Такой подход позволяет определить важные показатели эффективности ЛА и оценить влияние на эти показатели различных факторов.

Представлены результаты исследований по определению зависимости вероятности выхода в ИК от наиболее важных параметров, характеризующих условия решения этой задачи.

Для повышения эффективности ЛА при поиске цели по разовой информации необходимо иметь поисковые бортовые средства, обеспечивающие максимальную дальность и ширину зоны обзора, необходимо обеспечить наименьшее время выхода в район ОВПЦ, что достигается выбором района патрулирования (барражирования) на наиболее вероятных направлениях появления цели.

Методика может быть использована на этапе государственных летных испытаний в интересах оценки возможностей ЛА, а программная реализация при моделировании различных ситуаций по выходу в информационный контакт с воздушными объектами в широком диапазоне изменения внешних условий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 5. С. 131–144.
2. Бобков А.Е., Леонов А.В. Процедурная реконструкция территорий на виртуальном глобусе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 11. С. 10–17.
3. Корсун О.Н., Семенов А.В. Методика определения характеристик устойчивости и управляемости самолета М-55 «Геофизика» // Полет. 2006. № 2. С. 23–29.
4. Пушков С.Г., Горшкова О.Ю., Корсун О.Н. Математические модели погрешностей бортовых измерений скорости и угла атаки на режимах посадки самолета // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 8. С. 66–70.
5. Шилдт Г. Полный справочник по С#: пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 752 с.
6. Шилдт Г. С# 4.0: полное руководство: пер. с англ. М.: Вильямс, 2011. 1056 с.
7. Уотсон К. Visual С# 2010: полный курс: пер. с англ. / К. Нейгел, Я.Х. Педерсен, Дж. Д. Рид, М. Скиннер. М.: Диалектика, 2010. 960 с.
8. Петцольд Ч. Программирование с использованием Microsoft Windows Forms. Мастер-класс: пер. с англ. СПб.: Питер, 2006. 432 с.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: КноРус, 2010. 192 с.
10. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977. 336 с.
11. Арбузов И.В., Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.
12. Себряков Г.Г. Принципы создания универсальных систем визуализации комплексов моделирования для задач обучения, ситуационного анализа и тренажа / И.Б. Татарников, Ю.С. Тюфлин, С.В. Скрыбин, А.В. Тарновский // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2006. № 3. С. 48–50.
13. 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.
14. Скопец Г.М. Внешнее проектирование авиационных комплексов: Методологические аспекты. М.: URSS, 2017. 344 с.
15. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: монография / под ред. Федосова. 2-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2004. 816 с.
16. Абергауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам / А.П. Трость, Ю.И. Копенкин, И.А. Коровина. М.: Воениздат, 1970. 536 с.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
18. Мильграмм Ю.Г. Таблицы и графики для вероятностных расчетов. Ч. 1. М.: ВВИА, 1974. 381 с.
19. 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. 2007.
20. Овчаренко В.Н. Адаптивная идентификация параметров в динамических и статических системах // Автоматика и телемеханика. 2011. № 3. С. 113–123.
21. 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.

**22. Николаев С.В., Снегирева И.В.** Программно-аппаратный комплекс для исследований и оценивания в испытаниях характеристик авиационных комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2018. № 3. С. 22–36.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

**Тихонов Альберт Александрович**, инженер-испытатель научно-испытательного отдела 929 Государственного летно-испытательного центра МО РФ, nikozavr1978@yandex.ru.

**Меренцов Дмитрий Сергеевич**, инженер-испытатель научно-испытательного отдела 929 Государственного летно-испытательного центра МО РФ, nikozavr1978@yandex.ru.

## DEFINITION IN TESTING FOR THE PROBABILITY OF EXIT OF THE AIRCRAFT IN INFORMATIONAL CONTACT WITH AIR OBJECTS

**Sergey V. Nikolaev<sup>1</sup>, Albert A. Tikhonov<sup>1</sup>, Dmitry S. Merencov<sup>1</sup>**  
*<sup>1</sup>929 State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Akhtubinsk, Russia*

### ABSTRACT

The article presents a methodology for determining the probability of aircraft information contacting airborne objects within flight test procedures. The methodology is based on the experimental-theoretical test method, based on the application of mathematical modeling. The technique differs from the known ones in that it uses modern information technologies, and the adopted mathematical model is implemented in the form of a computer program. In addition, detecting the given performance indicator in flight experiments is inappropriate because of significant resource costs. This technique is suitable for practical testing purposes and allows determining the aircraft efficiency index when searching air objects – the probability of an information contact with a typical air facility. The presented computer program provides the performance of calculations of the output index for different values and combinations of factors influencing the result. The simulation was performed and the probabilities of the aircraft information contact with typical airborne objects under given conditions were obtained. The results of the influence research on the probability of groups of factors outlet into information contact: the aircraft and the air object characteristics, the quality of the initial information about it, search conditions are presented. As a result of the work, the main regularities are established when solving the problem of the aircraft information contact with an air object. The computer program created within the methodology framework has a modern graphical interface and allows reducing the time spent by the researcher on the processing of test results. The developed technique allows performing a comparative assessment of the aircraft capabilities to detect airborne objects in tests.

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

### REFERENCES

- 1. Nikolaev, S.V.** (2017). *Opredelenie v ispytaniyakh veroyatnosti obnaruzheniya nazemnykh obektov s borta letatel'nogo apparata* [Determination in the tests of the probability of detecting ground objects from the aircraft]. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 5, pp. 131–144. (in Russian)
- 2. Bobkov, A.E. and Leonov, A.V.** (2015). *Procedurnaya rekonstruktsiya territorij na virtualnom globuse* [Procedural reconstruction of territories on a virtual globe]. *Vestnik kompyuternikh i informatsionnikh tekhnologiy* [Herald of computer and information technologies], no. 11, pp. 10–17.
- 3. Korsun, O.N. and Semenov, A.V.** (2006). *Metodika opredeleniya kharakteristik ustoychivosti i upravlyaemosti samoleta M-55 «Geofizika»* [Methodology for determining the stability and handling characteristics of the M-55 Geophysics aircraft]. *Polet* [Flight], 2006, no. 2. pp. 23–29.

4. **Pushkov, S.G., Gorshkova, O.Yu. and Korsun, O.N.** (2013). *Matematicheskie modeli pogreshnostey bortovykh izmereniy skorosti i ugla ataki na rezhimakh posadki samoleta* [Mathematical models of errors in on-board measurements of speed and angle of attack on aircraft landing modes]. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], no. 8, pp. 66–70. (in Russian)
5. **Shildt, G.** (2006). *Polnyy spravochnik po C#* [Full reference on C #]. *Per. s angl.* [Transl. from English]. Moscow: Williams, 752 p. (in Russian)
6. **Shildt, G.** (2011). *C# 4.0* [C # 4.0]. *Polnoe rukovodstvo* [A Complete Guide]. *Per. s angl.* [Transl. from English]. Moscow: Williams, 1056 p. (in Russian)
7. **Watson, K., Nagel, C., Pedersen, J.H., Reed, J.D. and Skinner, M.** (2010). *Visual C# 2010* [Visual C # 2010]. *Polnyy kurs* [Full Course]. *Per. s angl.* [Transl. from English]. Moscow: Dialectics, 960 p. (in Russian)
8. **Pettsold, Ch.** (2018). *Programmirovaniye s ispolzovaniem Microsoft Windows Forms. Master-klass* [Programming with Microsoft Windows Forms. Master Class]. *Per. s angl.* [Transl. from English]. St. Petersburg: Piter, 2006. 432 p.
9. **Venttsel E.S.** (2010). *Issledovanie operatsyy: zadachi, printsipy, metodologiya* [Research of operations: tasks, principles, methodology]. Moscow: Knorus, 192 p. (in Russian)
10. **Abchuk, V.A. and Suzdal, V.G.** (1977). *Poisk obektov* [Search for objects]. Moscow: Soviet Radio, 336 p. (in Russian)
11. **Arbuzov, I.V. and Bolkhovitinov, O.V.** (2008). *Boevye aviatsionnyye komplekсы i ikh effektivnost* [Combat aviation complexes and their effectiveness]. Moscow: VVIA prof. N.E. Zhukovsky, 224 p. (in Russian)
12. **Sebryakov, G.G., Tatarnikov, I.B., Tyuflin, Ju.S., Skryabin, S.V. and Tar-novskiy, A.V.** (2006). *Printsipy sozdaniya universalnykh sistem vizualizatsii kompleksov modelirovaniya dlya zadach obucheniya, situatsionnogo analiza i trenazha* [The principles of creating universal systems for visualization of modeling complexes for learning tasks, situational analysis and training]. *Vestnik kompyuternikh i informatsionnykh tekhnologiy* [Herald of Computer and Information Technologies], no. 3, pp. 48–50. (in Russian)
13. **Sebryakov, G.G., Zheltov, S.Ju. and Tatarnikov, I.B.** (2003). *Kompyuternye tekhnologii sozdaniya geoprostranstvennykh trekhmernykh stsen, ispolzuyuschikh kompleksirovaniye geograficheskoy informatsii i sintezirovannykh polzovatel'skikh dannykh* [Computer technologies for creation of geo-spatial three-dimensional scenes using the combination of geographic information and synthesized user data]. *Aerospace instrument making*, no. 8, pp. 2–10. (in Russian)
14. **Skopets, G.M.** (2017). *Vneshnee proektirovaniye aviatsionnykh kompleksov: Metodologicheskie aspekty* [External design of aviation complexes: Methodological aspects]. Moscow: URSS, 344 p. (in Russian)
15. *Aviatsiya PVO Rossii i nauchno-tekhnicheskiy progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnya, zavtra* [Aviation of the Air Defense of Russia and scientific and technical progress: combat complexes and systems yesterday, today, tomorrow]. (2004). Monograph. 2nd ed., stereotype. Ed. E.E. Fedosov. Moscow: Drofa, 816 p. (in Russian)
16. **Abergauz, G.G., Tron, A.P., Kopenkin, Yu.I. and Korovina, I.A.** (1970). *Spravochnik po veroyatnostnym raschetam* [Handbook of Probabilistic Calculations]. Moscow: Voenizdat, 536 p. (in Russian)
17. **Venttsel, E.S.** (1969). *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow: Nauka, 576 p. (in Russian)
18. **Milgramm, Yu.G.** (1974). *Tablitsy i grafiki dlya veroyatnostnykh raschetov. Part 1.* [Tables and graphs for probabilistic calculations. Part 1]. Moscow: VVIA, 381 p. (in Russian)
19. **Korsun, O.N. and Poplavskiy, B.K.** (2007). *Struktura metodologii identifikatsii matematicheskikh modeley samoletov po rezultatam letnykh ispytaniy* [The structure of the methodology

for the identification of mathematical models of airplanes based on the results of flight tests]. In the collection: Aviation technologies of the XXI century. IX International Scientific and Technical Symposium ASTEC'07. 2007. (in Russian)

**20. Ovcharenko, V.N.** (2011). *Adaptivnaya identifikatsiya parametrov v dinamicheskikh i staticheskikh sistemakh* [Adaptive identification of parameters in dynamic and static systems]. Automation and Remote Control, no. 3, pp. 113–123. (in Russian)

**21. Korsun, O.N. and Nikolaev, S.V.** (2016). *Identifikatsiya aerodinamicheskikh koeffitsientov samoletov v ekspluatatsionnom diapazone uglov ataki* [Identification of aerodynamic coefficients of aircraft in the operational range of attack angles]. Vestnik kompyuternikh i informatsionnikh tekhnologiy [Herald of Computer and Information Technologies], no. 9, pp. 3–10. (in Russian)

**22. Nikolaev, S.V. and Snegireva, I.V.** (2018). *Programmno-apparatnyy kompleks dlya issledovaniy i otsenivaniya v ispytaniyakh kharakteristik aviatsionnykh kompleksov* [Software and hardware complex for research and evaluation in testing the characteristics of aviation complexes]. Aerospace instrument making, no. 3, pp. 22–36. (in Russian)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

**Albert A. Tikhonov**, Test Engineer of the Research and Test Department 929 of the State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, nikozavr1978@yandex.ru.

**Dmitry S. Merentsov**, Test Engineer of the Research and Test Department 929 of the State Flight Test Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, nikozavr1978@yandex.ru.

Поступила в редакцию 10.07.2018  
Принята в печать 18.09.2018

Received 10.07.2018  
Accepted for publication 18.09.2018