

УДК 551.502

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА  
ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ  
МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

*Насонов А. А.<sup>1</sup>, Дорофеев В. В.<sup>2</sup>, Степанов А. В.<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия  
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация.  
E-mail: <sup>1</sup>alexeynasonov@list.ru*

В статье представлен порядок расчета вероятности визуального обнаружения малоразмерных наземных объектов при проведении поисково-спасательных операций (работ) в простых метеорологических условиях над равнинной местностью с применением вертолетов. Учтено влияние физико-географических и метеорологических условий на вероятность визуального обнаружения малоразмерных наземных объектов с учетом их линейных размеров, коэффициента контрастности, скорости и высоты полёта поискового вертолета.

**Ключевые слова:** поисково-спасательные операции (работы), ландшафт, коэффициент контрастности объекта, вероятность визуального обнаружения, малоразмерные наземные объекты, простые метеорологические условия, дальность видимости порога обнаружения.

**ВВЕДЕНИЕ**

подавляющее большинство поисково-спасательных операций (работ) ПСО (Р) в настоящее время проводится при возникновении авиационных происшествий (АП) и авиационных катастроф (АК) [1]. Положительный результат ПСО (Р) зависит от того, насколько оперативно и эффективно спланирован и проведен визуальный поиск и спасание терпящих или потерпевших бедствия пассажиров и экипажей воздушных судов (далее именуется как объект, терпящий бедствие (ОТБ)) [2]. Шансы на выживание людей, получивших травмы, уменьшаются на 80% в течение первых 24 часов поиска, а не получившие ни каких травм способны выжить без оказания помощи всего трое суток. Учитывая отсутствие дорог и недоступность территории авиационных происшествий и авиационных катастроф проведение ПСО (Р) без применения вертолетов невозможно. Вертолеты в отличие от самолетов могут выполнять визуальные полеты под низкими облаками при высоте нижней границы облаков (ВНГО) менее 600 м, а также выполнять посадку на не оборудованные площадки [3].

В связи с этим возрастает роль организации и проведения, авиационных поисково-спасательных операций с применением вертолетов в различных физико-географических и погодных условиях. Одним из требований Наставления по метеорологическому обеспечению гражданской авиации ПСО (Р), является оценка видимости у поверхности земли [4], которая определяет возможность визуального поиска и спасания ОТБ на фоне местности.

В статье рассмотрены малоразмерные наземные объекты (МНО) с линейными размерами от 1 до 4 м, что соответствует размерам человека или группы людей.

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В существующих методиках проведения поисково-спасательных работ оценка местонахождения ОТБ осуществляется без учета дальности видимости порога обнаружения (ДВПО) с кабины поискового вертолета. ДВПО зависит от яркостного контраста ОТБ на фоне местности, линейного размера объекта поиска, высоты и скорости полёта поискового вертолёта. Пренебрежение данных факторов приводит к увеличению времени поиска объекта, терпящего бедствие.

В имеющихся документах [5] и методиках [6] приведены оценки вероятности визуального обнаружения типовых наземных объектов на земной поверхности. Однако в существующем виде они не совсем точно учитывают влияние физико-географических условий на дальность визуального обнаружения объекта на фоне местности с учетом дальности видимости порога обнаружения МНО. В имеющихся методиках отождествляется метеорологическая дальность видимости (МДВ) объекта, наблюдаемого на фоне неба, с реальной дальностью видимости малоразмерных наземных объектов, наблюдаемых на фоне ландшафта. МДВ выражает прозрачность атмосферы и в международной практике её отождествляют с метеорологической оптической дальностью (МОД). Так же необходимо учитывать и свойства самого объекта наблюдения, основным критерием которого является контраст между фоном местности и объектом. Он должен быть больше порога контрастной чувствительности глаза ( $\varepsilon$ ), который днем изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,07 и согласно рекомендациям ИКАО, в целях обеспечения безопасности полетов  $\varepsilon=0,05$  [7, 8].

Характеристики ландшафта местности полностью влияют на контраст ОТБ и зависят от времени года, суток и географического района выполнения поиска и спасания.

По характеру контраста (К) ОТБ подразделяются на:

*незаметный* — объект, контраст находится в пределах 0,02–0,2;

*малозаметный* — объект с контрастом 0,2–0,3;

*заметный* — объект с контрастом 0,3–0,6;

*резко заметный* — объект с контрастом 0,6–0,9;

*абсолютный* — объект с контрастом 1 (соответствует контрасту абсолютно черного тела на белом фоне) [9, 10, 11, 12].

Поэтому целью статьи является учет влияния физико-географических условий на вероятность визуального обнаружения ОТБ в ПМУ с применением вертолетов над равнинной местностью.

### **ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

При проведении ПСО (Р) экипаж поискового ВС и наблюдатели производят наблюдения и визуальное обнаружение ОТБ по значениям наклонной полетной видимости [12, 13].

Наклонная полётная видимость зависит от МДВ, физико-географических, метеорологических условий района поиска и вида подстилающей поверхности [10-12]. При этом в простых метеорологических условиях (ПМУ), чем ниже высота

полета и чем больше скорость, тем меньше время наблюдения МНО и наклонная полетная видимость соответствует дальности видимости порога обнаружения [12, 13].

Вероятность визуального обнаружения ОТБ рассчитывается по формуле (1) на основе моделей представленных в [14]. Для расчёта значений вероятности выхода поискового вертолёта в район поиска ОТБ и вероятности прямой видимости ОТБ используются значения ДВПО в ПМУ. Это позволяет учитывать влияние физико-географических факторов.

$$P_{обн.МНОПМУ} = P_{вых.рп.МНО} \cdot P_{пв.МНО} \quad (1)$$

где  $P_{вых.рп.МНО}$  — вероятность выхода вертолёта в район поиска МНО;  $P_{пв.МНО}$  — вероятность прямой видимости МНО в зависимости от работы поискового маяка потерпевшего бедствие воздушного судна и маневренных характеристик поискового вертолёта.

$P_{вых.рп.МНО}$  вертолёта в район поиска МНО рассчитывается по формуле (2) [14]

$$P_{вых.рп.МНО} = 2\Phi\left(\frac{l_{\Sigma}}{2\sigma_z}\right) \quad (2)$$

где  $l_{\Sigma}$  — попадание поискового вертолёта в область обнаружения МНО;  $\Phi$  — преобразование Лапласа;  $\sigma_z$  — среднеквадратическое отклонение по оси  $Y$ , определенное навигационными и радиотехническими системами вертолёта.

Вероятность выхода в район поиска МНО определяется, как попадание вертолёта на отрезок  $l_{\Sigma}$ , представленный на рис. 1, и вычисляется по формуле (3) [14]:

$$l_{\Sigma} = 2 \cdot l_{обн} + l_{ц} \quad (3)$$

где  $l_{ц}$  — размер объекта по вертикальной оси  $Y$ , м;  $l_{обн}$  — дальность обнаружения МНО, м.

Дальность обнаружения МНО ( $l_{обн}$ ) рассчитывается по формуле (4) [14]:

$$l_{обн} = 0,1 \sqrt{H \sqrt{S_{пор.обн}}} \cdot e^{-0,12 \frac{V}{100} - 0,78} \quad (4)$$

где  $H$  — высота полёта вертолёта, м;  $V$  — скорость полёта вертолёта, км/ч;  $S_{пор.обн}$  — дальность видимости порога обнаружения МНО, м.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

ДВПО ( $S_{пор.обн}$ ) рассчитывается по формуле (5) [11]:

$$S_{пор.обн} = 1700 \cdot l_u \cdot K \cdot \exp\left(\frac{-\ln(1/\varepsilon) \cdot l}{S_0}\right) \quad (5)$$

где  $l_u$  — вертикальный размер малоразмерного объекта, м;  $K$  — контрастность объекта на фоне местности (изменяется в диапазоне от 0 до 1);  $l$  — измерительная база для средств измерения МОД, м;  $\varepsilon$  — пороговая чувствительность глаза (изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,07) [6];  $S_0$  — метеорологическая дальность видимости, м.

В формуле (5)  $\varepsilon=0,05$ , а для средств измерения МОД при  $l = 100, 75, 50, 10$  м в ПМУ значение  $\exp\left(\frac{-\ln(1/\varepsilon) \cdot l}{S_0}\right) \approx 1$  [15]

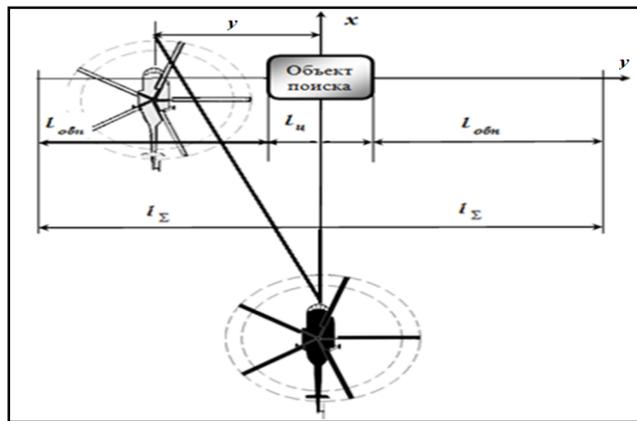


Рис. 1. Вероятность выхода вертолёта в район визуального поиска потерпевших бедствие.

Сезонная изменчивость природных покровов ландшафта, а также характер подстилающей поверхности оказывают существенное влияние на яркостно-цветовой контраст между объектом и фоном местности. Поэтому, в зависимости от географического расположения района местности и времени года, ландшафт местности подразделяется на три типа. К первому типу относятся снег, лед, горные породы серого, белого и черного цвета. Ко второму типу ландшафта местности относят сухую растительность, большую часть минералов, почв, грунтов, а также горные породы. К третьему типу относятся зеленые растительные объекты, меняющие цвет при незначительном наклоне и изменении высоты [11, 12, 13].

Особенностью визуального способа выполнения ПСО (Р) является поиск МНО с учётом их линейных размеров по вертикали [11]. При этом необходимо отметить, что МНО в ПМУ имеют различные значения ДВПО (максимальная дальность видимости МНО) [12].

Дальность видимости порога обнаружения МНО зависит от коэффициента контрастности, который в свою очередь определяет их заметность на фоне ландшафта местности. Значения контраста МНО различны для каждого типа ландшафта. Поэтому, при одних и тех же значениях прозрачности атмосферы и МДВ, ДВПО объектов будет существенно отличаться.

Учет влияния физико-географических условий на ВВО МНО в ПМУ с применением вертолетов для различных скоростей и высот полётов над равнинной местностью проведен путем расчета по формуле (1) и в качестве примера представлен на рисунках 2, 3 и 4.

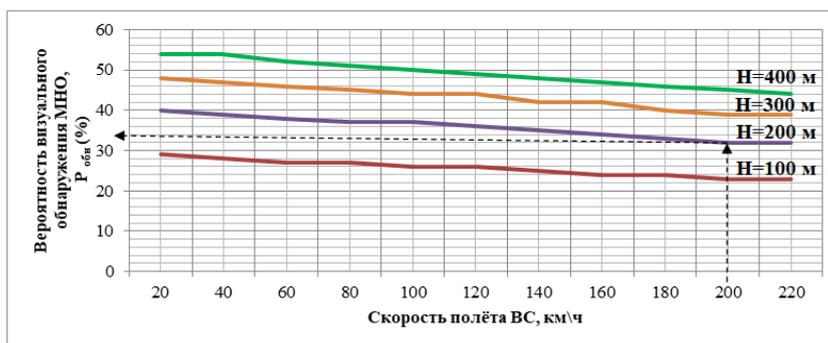


Рис. 2. Вероятность визуального обнаружения МНО в ПМУ с коэффициентом контрастности 0,2 и линейным размером объекта 2 м, при различных скоростях и высотах полёта поискового вертолёта.

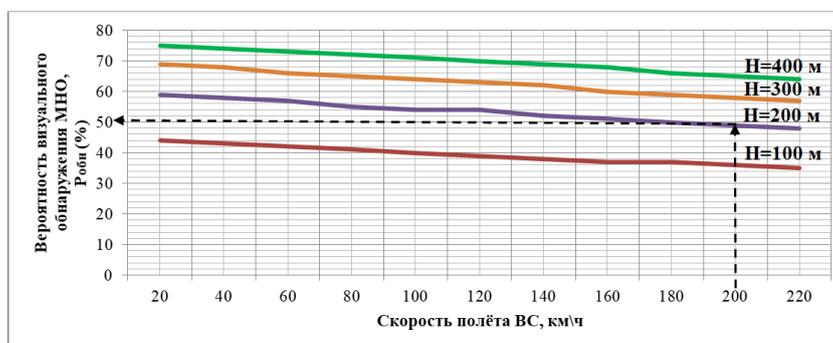


Рис. 3. Вероятность визуального обнаружения МНО в ПМУ с коэффициентом контрастности 0,6 и линейным размером объекта 2 м при различных скоростях и высотах полёта поискового вертолёта.

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

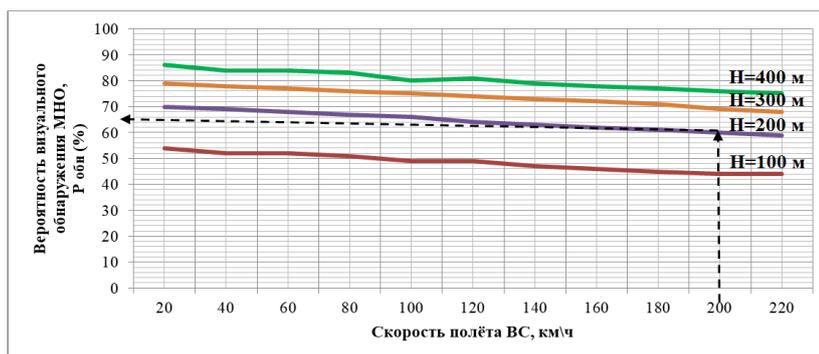


Рис. 4. Вероятность визуального обнаружения МНО в ПМУ с коэффициентом контрастности 0,9 и линейным размером объекта 2 м при различных скоростях и высотах полета поискового вертолета.

Анализ учета влияния физико-географических условий на ВВО МНО в ПМУ, показывает, что чем больше коэффициент контрастности и линейный размер МНО, тем выше показатели ВВО МНО. На рисунках 2–4 показано, что на высоте полета 200 метров при скорости 200 км/ч вероятность визуального обнаружения МНО линейного размера  $l_y = 2$  м при  $K = 0,2$  составляет 34%, а вероятность визуального обнаружения резко заметного при  $K = 0,9$  составляет 67%. Кроме этого видно, что показатели ВВО МНО напрямую зависят от скорости и высоты полета поискового вертолета.

Оценка достоверности расчетов ВВО МНО проведена путем сравнения, результатов проведенного исследования («Поиск») с методикой «Выход ЛА» [6] и экспериментальными данными лётного состава выполняющие полеты по задачам ПСО (Р) в ПМУ. Полученные результаты согласуются и не противоречат лётному эксперименту и методики [6] (таблица 1).

Таблица 1.

Сравнительная оценка вероятностей и дальностей визуального обнаружения малоразмерных наземных объектов

Линейный размер объекта поиска, м	Дальность обнаружения согласно расчета методикой «Выход ЛА», км	Дальность обнаружения согласно расчета методикой «Поиск», км	Дальность обнаружения согласно данных эксперимента, км
1-2 м	1,6-1,8 км с вероятностью <b>0,65</b>	1,6-1,8 км с вероятностью <b>0,63</b>	1,6-1,8 км с вероятностью <b>0,60</b>
3-4 м	4 км с вероятностью <b>0,7</b>	4 км с вероятностью <b>0,73</b>	4 км с вероятностью <b>0,75</b>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования позволяют реализовать следующий алгоритм учета влияния физико-географических условий на ВВО МНО в ПМУ с применением вертолетов над равнинной местностью:

– на топографической карте крупного масштаба по координатам района поиска определяем тип ландшафта местности;

– по информации руководителя ПСО (Р) оценивается примерный линейный размер МНО поиска и его контраст на фоне местности;

– по характеру контраста МНО оцениваем его заметность (малозаметный, заметный и т.д.);

с учётом ВВО МНО, яркостного контраста, линейного размера, высоты и скорости полета поискового вертолета оцениваем влияния физико-географических условий в ПМУ над равнинной местностью, тем самым предоставляем дополнительную информационно-аналитическую информацию руководителю ПСО (Р).

Предлагается учет влияния физико-географических условий на ВВО МНО в ПМУ над равнинной местностью с применением вертолетов. Это позволит уменьшить сроки поиска ОТБ, повысить успешность выполнения ПСО (Р), спрогнозировать объективный результат и определить оптимальный способ проведения по высоте и скорости полета.

## Список литературы

1. Авиационные происшествия: причины, анализ, отчеты, расследования [Электронный ресурс] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnyye-proisshestviya> (дата обращения: 03.01.2022).
2. Воздушный кодекс РФ от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 24 марта 1997 г. №12. 1383 с.
3. Учебник спасателя / С. К. Шойгу, М. И. Фалеев, Г. Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. 528 с.
4. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). М.: Транспорт, 1995. 204 с.
5. РП АСОП ГА-91. (1991) Руководство по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР. - М.: Министерство гражданской авиации. 192 с.
6. Николаев С. В. (2017) Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата // Научный вестник МГТУ ГА. № 20(5). С. 131–144.
7. Всемирная метеорологическая организация. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Изд. Шестое. Женева: ВМО. 2000. № 8. 86 с.
8. Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 780 с.
9. Зайцев А. П., Шелупанов А. А. Мещеряков Р. В. Технические средства и методы защиты информации. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2009. 508 с.
10. Насонов А. А., Степанов А. В., Дорофеев В. В. Расчет полетной видимости с учетом линейного размера объекта (ориентира). Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ №20200662725 от 27.10.2020.
11. Мазуров Г. И., Нестерук В. Н. Метеорологические условия и полеты вертолетов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 256 с.
12. Дорофеев В. В. Нахмансон Г. С. Наклонная дальность видимости. Воронеж: ВАИУ, 2007. 209 с.
13. Дорофеев В. В., Нахмансон Г. С., Ковалев В. И. Полетная видимость. Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. 280 с.

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

---

14. Арбузов И. В., Болховитинов О. В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.
15. Руководство по определению дальности видимости на ВПП (РД 52.21.680, 2006. 98 с.

### ACCOUNTING FOR THE INFLUENCE OF PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS ON THE PROBABILITY OF VISUAL DETECTION OF SMALL GROUND OBJECTS DURING SEARCH AND RESCUE OPERATIONS

*Nasonov A. A.<sup>1</sup>, Dorofeev V. V.<sup>2</sup>, Stepanov A. V.<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Military Training and Research Center of the Air Force " Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation  
E-mail: <sup>1</sup>alexeynasonov@list.ru*

The overwhelming majority of search and rescue operations (works) of PSO (R) are currently carried out in the event of aviation accidents (AA) and aviation accidents (AC). A positive result of the PSO (R) depends on how quickly and effectively the visual search and rescue of passengers and aircraft crews in distress or in distress (hereinafter referred to as the object in distress (OTS)) is planned and carried out. The chances of survival of people who are injured are reduced by 80% during the first 24 hours of searching, and those who have not received any injuries are able to survive without assistance for only three days.

Given the lack of roads and the inaccessibility of the territory of the AP and AK, it is impossible to conduct a PSO (R) without the use of helicopters. Helicopters, unlike airplanes, can perform visual flights under low clouds at a cloud base height (CLB) of less than 600 m, as well as land on non-equipped sites.

In this regard, the role of organizing and conducting aviation PSO (R) with the use of helicopters in various physical, geographical and weather conditions is increasing. One of the requirements of the Manual on the meteorological support of civil aviation PSO (R) is the assessment of visibility at the ground surface, which determines the possibility of visual search and rescue of the OTB against the background of the terrain.

The article considers small-sized ground objects (MNO) with linear dimensions from 1 to 4 m, which corresponds to the size of a person or a group of people.

In the existing methods of conducting PSO (R), the assessment of the location of the FTB is carried out without taking into account the visibility range of the detection threshold (DVPO) from the cockpit of a search helicopter. The DVPO depends on the brightness contrast of the FTB against the background of the terrain, the linear size of the search object, the altitude and flight speed of the search helicopter. Neglect of these factors leads to an increase in the search time for the OTB.

**Keywords:** search and rescue operations (works), landscape, contrast ratio of an object, probability of visual detection, small-sized ground objects, simple meteorological conditions, visibility range of the detection threshold.

**References**

1. Aviacionnye proisshestiya: prichiny, analiz, otchety, rassledovaniya [Elektronnyj resurs] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnye-proisshestiya> (data obrashcheniya: 03.01.2022).
2. Vozdushnyj kodeks RF ot 19 marta 1997 g. № 60-FZ // Sobranie zakonodateľstva Rossijskoj Federacii. 24 marta 1997 g. №12. 1383 s. (In Russian).
3. Uchebnik spasatelya / S. K. SHojgu, M. I. Faleev, G. N. Kirillov i dr.; pod obshch. red. YU. L. Vorob'eva. 2-e izd., pererab. i dop. Krasnodar: «Sov. Kuban'», 2002. 528 s. (In Russian).
4. Nastavlenie po meteorologicheskomu obespecheniyu grazhdanskoj aviacii Rossii (NMO GA-95). M.: Transport, 1995. 204 s. (In Russian).
5. RP ASOP GA-91. (1991) Rukovodstvo po poiskovomu i avarijno-spasatel'nomu obespecheniyu poletov grazhdanskoj aviacii SSSR. - M.: Ministerstvo grazhdanskoj aviacii. 192 s. (In Russian).
6. Nikolaev S. V. (2017) Opredelenie v ispytaniyah veroyatnosti obnaruzheniya nazemnyh ob"ektov s borta letatel'nogo apparata // Nauchnyj vestnik MGTU GA. № 20(5). S. 131–144. (In Russian).
7. Vsemirnaya meteorologicheskaya organizaciya. Rukovodstvo po meteorologicheskim priboram i metodam nablyudenij. Izd. SHestoe. ZHeneva: VMO. 2000. № 8. 86 s. (In Russian).
8. Matveev L. T. Fizika atmosfery. SPb.: Gidrometeoizdat, 2000. 780 s. (In Russian).
9. Zajcev A. P., SHelupanov A. A. Meshcheryakov R. V. Tekhnicheskie sredstva i metody zashchity informacii. Uchebnik dlya vuzov. M.: Mashinostroenie, 2009. 508 s. (In Russian).
10. Nasonov A. A., Stepanov A. V., Dorofeev V. V. Raschet poletnoj vidimosti s uchetoм linejnogo razmera ob"ekta (orientira). Svidetel'stvo gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM №2020662725 ot 27.10.2020. (In Russian).
11. Mazurov G. I., Nesteruk V. N. Meteorologicheskie usloviya i polety vertoletov. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 256 s. (In Russian).
12. Dorofeev V. V. Nahmanson G. S. Naklonnaya dal'nost' vidimosti. Voronezh: VAIU, 2007. 209 s. (In Russian).
13. Dorofeev V. V., Nahmanson G.S., Kovalev V.I. Poletnaya vidimost'. Voronezh: Voronezhskij CNTI – filial FGBU «REA» Minenergo Rossii, 2013. 280 s. (In Russian).
14. Arbuzov I. V., Bolhovitinov O. V. Boevye aviacionnye komplekсы i ih effektivnost' - M.: VVIA im. prof. N.E. ZHukovskogo, 2008. 224 s. (In Russian).
15. Rukovodstvo po opredeleniyu dal'nosti vidimosti na VPP (RD 52.21.680, 2006. 98 s. (In Russian).

*Поступила в редакцию 14.01.2022 г.*