

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.512

МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДИМОСТИ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Голунов А. С.¹, Дорофеев В. В.², Кузнецов И. Е.³, Насонов А. А.⁴, Степанов А. В.⁵

^{1,2,3,4,5}Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация

E-mail: ¹meteo_box@mail.ru

В статье представлена модель характеристик видимости малоразмерных объектов на земной поверхности из кабины вертолёта в полёте, необходимая для метеорологического обеспечения гражданской и государственной авиации.

Ключевые слова: тип распределения горизонтальной видимости с высотой, метеорологическая дальность видимости, полётная дальность видимости, малоразмерные объекты, порог дальности обнаружения, вероятность визуального обнаружения объекта.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт метеорологического обеспечения гражданской и государственной авиации показал, что при низкой облачности (высота нижней границы менее 600 м) информация о метеорологической дальности видимости (МДВ) является недостаточной для визуального обнаружения малоразмерных объектов (МО) (автомобиль, группа людей, человек и т.д.). Визуальное обнаружение МО возможно с помощью характеристик видимости этих объектов, полученных на фоне местности и позволяющих учитывать высоту, скорость полёта воздушного судна (применительно для вертолётов), тип распределения горизонтальной видимости с высотой, порог дальности обнаружения МО [1, 2].

Это обуславливает противоречие между МДВ, являющейся характеристикой горизонтальной видимости и необходимыми характеристиками видимости МО на фоне местности с высоты полёта вертолёта.

Разрешение противоречия требует решения научной задачи по построению моделей характеристик видимости МО на фоне местности, при различных скоростях и высотах полёта вертолёта.

Поэтому целью статьи является повышение качества метеорологического обеспечения полётов вертолётов путём разработки моделей характеристик видимости.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИДИМОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Выполнение полётов вертолётов государственной и гражданской авиации под низкими облаками по степени сложности подразделяются на простые метеорологические условия (ПМУ) (ВНГО ≥ 200 м, а полётная дальность видимости (ПДВ) ≥ 2 км) и сложные метеорологические условия (СМУ) (ВНГО < 200 м, а ПДВ < 2 км) [3, 4, 5, 6].

Характеристиками видимости визуального обнаружения МО на земной поверхности являются ПДВ и показатель вероятности визуального обнаружения ($P_{\text{виз.обн}}$) [4].

Модель ПДВ МО реализована формулами 1, 2 [1, 2]:

$$S_{\Pi} = L_{\text{явл}} \frac{H_{\text{пол}}}{\ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) \cos\theta \cdot \int_0^{H_{\text{пол}}} \frac{dh}{S_{mh}}} \cdot D \quad (1)$$

$$D = \frac{\ln\left(\frac{K}{\varepsilon}\right)}{\ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \quad (2)$$

где $H_{\text{пол}}$ — высота полёта вертолёта, м; θ — угол визирования; D — коэффициент относительной видимости; ε — порог контрастной чувствительности глаза; S_{mh} — горизонтальная видимость на высоте полёта, м; K — контрастность объекта (при $K=0,2$ объект считается малозаметным, $K=0,6$ — средне заметным и $K=0,9$ — хорошо заметным); dh — слои, характеризующие распределение горизонтальной видимости с высотой, м; $L_{\text{явл}}$ — экспериментально установленные коэффициенты ($L_{\text{дымка}}=1, L_{\text{дождь}}=0,91, L_{\text{снег}}=0,84, L_{\text{морось}}=0,8$) [1].

Отличительной особенностью построенной модели ПДВ МО при расчете S_{mh} (формула 1) является использование ПДО МО в отличие от известных моделей ПДВ, где используется МДВ [1, 2]:

$$S_{\text{ПДО}} = 1700 \cdot L_{\text{ор}} \cdot K \cdot \tau \quad (3)$$

где $L_{\text{ор}}$ — линейные размеры МО; K — контрастность объекта, который учитывает условия оптической маскировки; τ — прозрачность атмосферы, (%).

В качестве примера на рис. 1 и 2 представлена зависимость ПДВ МО от путевой скорости при $K=0,9, K=0,6$ и $K=0,2$, линейном размере $L=2$ м, высоте полета 50 м, явлений погоды при ВНГО=200 м, МДВ=2 км и при ВНГО=400 м, МДВ=4 км.

Анализ значений ПДВ МО с линейным размером 2 м, по графикам, представленным на рис. 1 и 2 показал, что:

МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДИМОСТИ
 ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
 ГРАЖДАНСКОЙ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

при ВНГО = 200 м, МДВ = 2 км, коэффициентах контрастности от 0,2 до 0,9, в диапазоне скоростей полёта вертолёта от 20 до 300 км/ч, на высоте полёта 50 м визуальный поиск выполнить возможно только при контрасте МО 0,6 и 0,9 в любом диапазоне скоростей, при $K=0,2$ — только при скорости полёта менее 100 км/ч.

при ВНГО = 400 м и МДВ = 4 км, коэффициентах контрастности от 0,2 до 0,9, на высоте полёта 50 м и при абсолютно любых скоростях полёта вертолёта визуальный поиск возможен, значения ПДВ составляют от 1300 м до 3600 м.

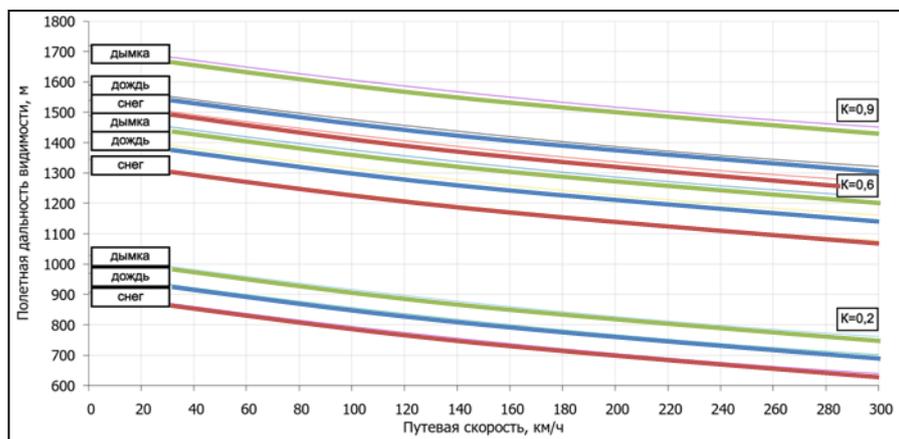


Рис. 1. Зависимость полётной дальности видимости малоразмерного объекта от путевой скорости вертолёта, явлений погоды при высоте полёта 50 м и при ВНГО = 200 м, МДВ = 2 км

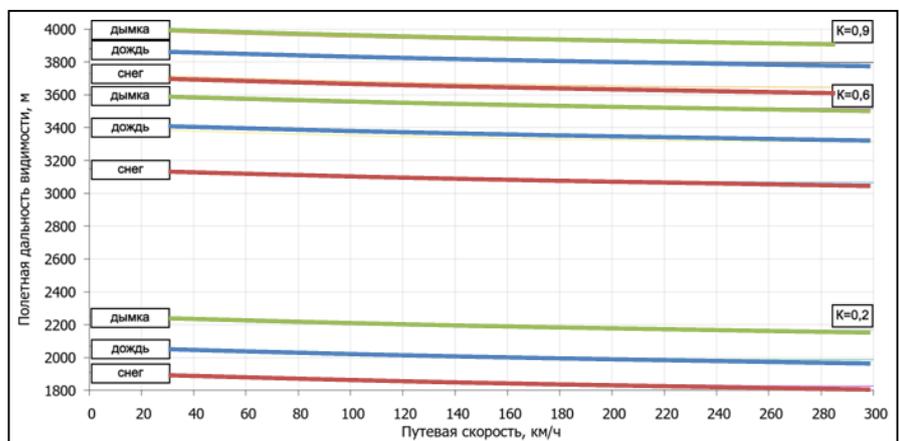


Рис. 2. Зависимость полётной дальности видимости малоразмерного объекта от путевой скорости вертолёта, явлений погоды при высоте полёта 50 м и при ВНГО = 400 м, МДВ = 4 км

Модель показателя вероятности визуального обнаружения МО ($P_{\text{виз.обн}}$) строится на элементах теории вероятности, в частности, на понятии геометрической вероятности (формула 5) [8]. Показатель определяется по диаграммам ПДВ и порога дальности обнаружения МО [3-6].

$$P_{\text{виз.обн}} = P_{\text{ПДВО}} \cdot P_{\text{виз.КУО}} \quad (5)$$

где $P_{\text{виз.КУО}}$ — показатель вероятности визуального обнаружения объекта с учетом курсового угла; $P_{\text{ПДВО}}$ — показатель вероятности визуального обнаружения объекта при попадании в его диаграмму видимости.

$P_{\text{ПДВО}}$ определяется формулой 6:

$$P_{\text{ПДВО}} = \frac{S_{\text{Нпол}}}{S_{\text{ДВО}}} \quad (6)$$

где $S_{\text{Нпол}}$ — площадь проецируемого круга, полученного путем сечения диаграммы ПДВ МО горизонтальной плоскостью на высоте полёта вертолёта; $S_{\text{ДВО}}$ — площадь круга с радиусом, равным дальности видимости МО.

В качестве примера на рис. 3 представлена диаграмма видимости МО во II ТГРВ:

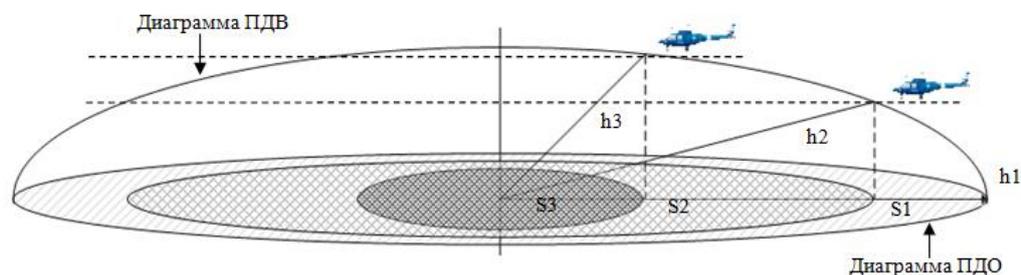


Рис. 3. Диаграмма видимости МО для разных высот полёта во II ТГРВ.

При полёте на разных высотах (h_1 , h_2 и h_3) объект можно будет обнаружить только при попадании в диаграмму видимости этого объекта.

На разных высотах полёта время и вероятность обнаружения прямо пропорционально площади полукруга, полученного при проецировании сечения диаграммы видимости на горизонтальную поверхность (S_1, S_2, S_3):

МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДИМОСТИ
 ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
 ГРАЖДАНСКОЙ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

$$S_1 = S_{ДВО} = \frac{\pi R_1^2}{2} \quad (7)$$

$$S_2 = S_{H_{пол2}} = \frac{\pi R_2^2}{2} \quad (8)$$

$$S_3 = S_{H_{пол3}} = \frac{\pi R_3^2}{2} \quad (9)$$

где R_1 — радиус зоны S_1 , равный ДПО, R_2 — радиус зоны S_2 ; R_3 — радиус зоны S_3 для высот h_1, h_2 и h_3 соответственно.

Показатель вероятности обнаружения МО ($P_{ПДВО1}$ и $P_{ПДВО2}$) можно представить, как отношение площадей S_2 и S_3 к площади S_1 :

$$P_{ПДВО1} = \frac{S_2}{S_1} \quad (10)$$

$$P_{ПДВО2} = \frac{S_3}{S_1} \quad (11)$$

где $R_3 < R_2 < R_1$ и $P_{ПДВО2} < P_{ПДВО1}$.

Выполнение полёта подразумевает наличие «мёртвых зон», обусловленных конструктивными особенностями вертолёта (невозможность вертикального наблюдения вниз из кабины вертолёта) и временем, необходимым на обнаружение и опознавание МО (зависит от уровня подготовленности экипажа), поэтому необходимо рассмотреть рис. 4, на котором изображены полёт на высоте ($H_{пол}$) и зоны обнаружения и опознавания МО.

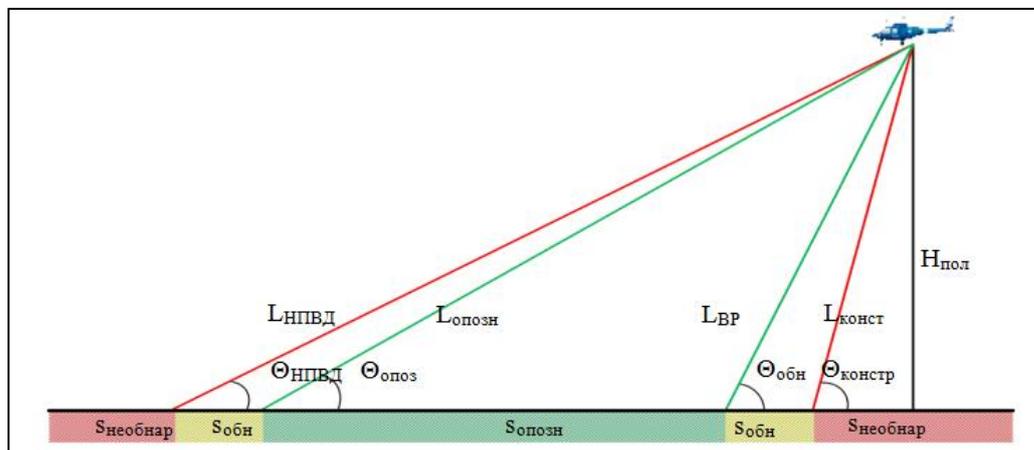


Рис. 4. Зоны обнаружения и опознавания объектов.

При полёте на высоте ($H_{пол}$) существует зона, где объект не виден, так называемая «мёртвая зона» ($S_{констр}$), которая включена в зону $S_{необнар}$ — объект не будет обнаружен. Она зависит от конкретного типа вертолётa и характеризуется углом закрытия, определяемым конструктивными особенностями вертолётa — $\Theta_{констр}$.

Также присутствуют зоны $S_{обн}$, которые образуются за счет времени реакции лётчика или наблюдателя (зависит от уровня подготовки), необходимого для опознавания обнаруженного объекта, во время полётa вертолётa.

$S_{обн}$ зависит от скорости полётa.

$$S_{обн} = w \cdot t \quad (11)$$

где w — путевая скорость полётa вертолётa; t — время реакции пилота или наблюдателя (среднее время для опытного лётчика 1 класса 3–4 секунды, для лётчика 3 класса — 6–8 секунд).

$\Theta_{опозн}$ является предельным углом опознавания МО, а $\Theta_{ПДВ}$ — предельным углом, определяемый ПДВ.

Таким образом, объект может быть обнаружен только в зоне $S_{опозн}$ при условии $\Theta_{НПВД} \leq \Theta_{опозн} \leq \Theta_{обн}$ [4].

Зона опознавания МО будет определяться:

$$S_{опозн} = S_{общ} - 2S_{обн} - S_{констр} \quad (12)$$

Для этого найдем $S_{констр}$ ($S_{обн}$ по формуле (3)), воспользовавшись теоремой синусов:

$$S_{констр} = H_{пол} \cdot ctg \Theta_{констр} \quad (13)$$

$$S_{общ} = L_{ПДВ} \cdot \cos \Theta_{ПДВ} \quad (14)$$

$$\Theta_{ПДВ} = arctg \frac{H_{пол}}{L_{ПДВ}} \quad (15)$$

тогда

$$S_{опозн} = L_{ПДВ} \cdot \cos \Theta_{ПДВ} - 2w \cdot t - H_{пол} \cdot ctg \Theta_{констр} \quad (16)$$

при этом $P_{ПДВО}$ представляется как отношение площадей:

$$P_{ПДВО} = \frac{\pi(S_{опозн} + S_{обн} + S_{констр})^2 - \pi(S_{обн} + S_{констр})^2}{\pi S_{общ}} \quad (17)$$

Для определения показателя вероятности визуального обнаружения $P_{виз.КВО}$ рассмотрим рис. 5.

Объект поиска находится в точке O . При условии, если полет будет выполняться через точку O , т.е. над объектом, то вероятность его обнаружения $P_{обн}=1$, а при пролете через O_1 или O_2 — $P_{обн}=0$ (рис. 5) [3].

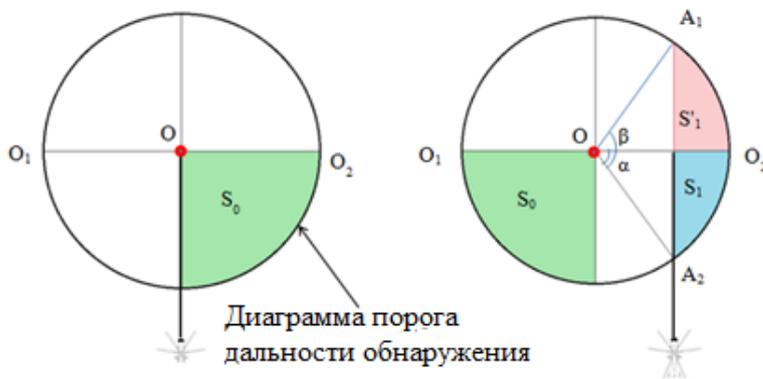


Рис. 5. Площадные характеристики визуального обнаружения МО для определения показателя вероятности визуального обнаружения при различных курсовых углах.

Показатель вероятности $P_{виз.КВО}$ можно представить через отношение площадей S_1 к S_0 .

$$P_{виз.КВО} = \frac{S_1}{S_0} \quad (18)$$

где S_0 — четверть площади круга, представляющего собой порог дальности обнаружения МО, т.е.:

$$S_0 = \frac{\pi R^2}{4} \quad (19)$$

где R — порог дальности обнаружения (максимальное расстояние, с которого возможно обнаружить объект, определяется типом распределения горизонтальной видимости с высотой (метеорологическими условиями) и ПДВ).

Площадь сегмента ($S_{сегм}$), опирающегося на дугу A_1A_2 , равна

$$S_{сегм} = S_1 + S_2 = \frac{1}{2}(\beta - \sin \beta)R^2 \quad (20)$$

где β — в радианах, причем $\beta = 2\alpha$, тогда

$$S_1 = \frac{S_{сегм}}{2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (\beta - \sin \beta)R^2}{2} = \frac{(\beta - \sin \beta)R^2}{4} \quad (21)$$

таким образом:

$$P_{виз.КУО} = \frac{S_1}{S_0} = \frac{(\beta - \sin \beta)}{\pi} = \frac{2\alpha - \sin(2\alpha)}{\pi} \quad (22)$$

где α — курсовой угол обнаружения МО при попадании в его диаграмму видимости, в радианах.

В качестве примера на рис. 6–9 приведены расчеты показателя вероятности визуального обнаружения МО в СМУ (ВНГО=200м, ПДВ = 2км) и ПМУ (ВНГО=400м, ПДВ = 4 км) для $L=2$ м, $K=0,9$, высот полёта от 50 м. до 350 м. и углов $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$.

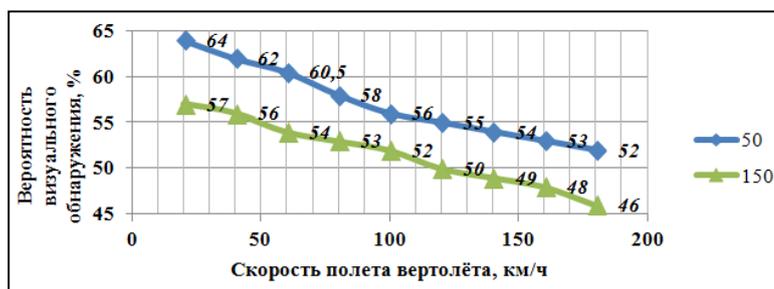


Рис. 6. Вероятность визуального обнаружения МО в зависимости от скорости и высоты полёта вертолётa (50м, 150м) при угле $\alpha = 90^\circ$ в СМУ.

МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИДИМОСТИ
 ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
 ГРАЖДАНСКОЙ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

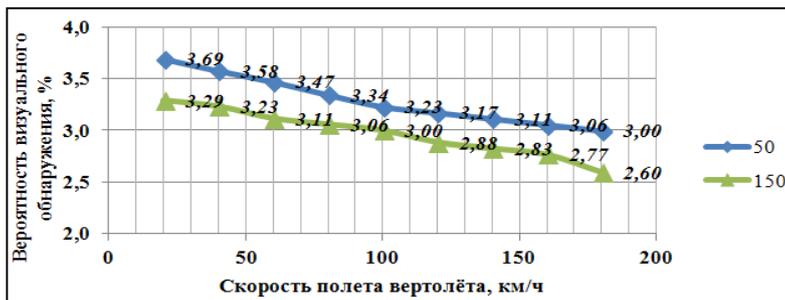


Рис. 7. Вероятность визуального обнаружения МО в зависимости от скорости и высоты полёта вертолёта (50м, 150м) при угле $\alpha = 30^\circ$ в СМУ.



Рис. 8. Вероятность визуального обнаружения МО в зависимости от скорости и высоты полёта вертолёта (50м, 350м) при угле $\alpha = 90^\circ$ в ПМУ.

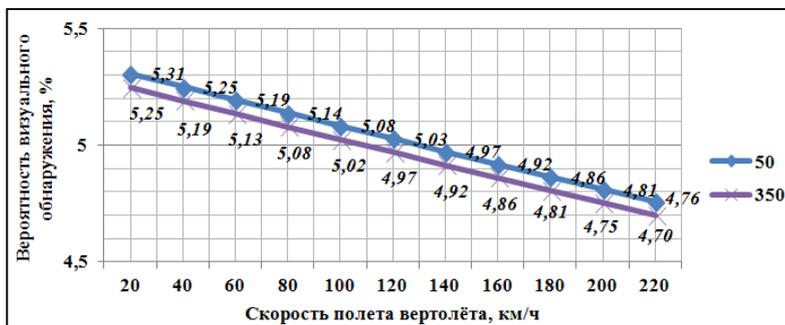


Рис. 9. Вероятность визуального обнаружения МО в зависимости от скорости и высоты полета вертолета (50м, 350м) при угле $\alpha = 30^\circ$ в ПМУ.

Анализ рис. 6–9 показал, что в ПМУ вероятность визуального обнаружения МО для любой путевой скорости при $\alpha = 90^\circ$ более 80%, при $\alpha = 30^\circ$ — менее 6%.

В СМУ вероятность визуального обнаружения МО при $\alpha = 90^\circ$ менее 65%, при $\alpha = 30^\circ$ — менее 4%.

ВЫВОДЫ

Построенная модель характеристик видимости отличается от известных моделей учётом фактических метеорологических условий, яркостного контраста объекта поиска на фоне местности, его линейного размера, а также скорости и высоты полёта поискового вертолёта. Данная модель позволяет производить оценку вероятности обнаружения и возможность выполнения визуального поиска малоразмерного объекта с применением вертолёта в зависимости от синоптической ситуации и географического расположения района поиска. По фактическим и прогностическим метеорологическим условиям в районе местности поиска проведён учёт уровня подготовки лётного состава, позволяющий принимать метеозависимые решения на выполнение визуального полёта поискового вертолёта.

Список литературы

1. Дорофеев В.В., Бакланов И.О., Степанов А.С., Жильчук И.А., Ковалёв В.И. Полетная видимость. Монография. Воронеж, Воронежский ЦНТИ, 2013. 250 с.
2. Кмито А.А., Смирнов П.И. Общий курс метеорологии. Часть II. Л.: ВВИА им. проф. А.Ф.Можайского, 1959. 182 с.
3. Федеральные авиационные правила производства полетов государственной авиации Российской Федерации (ФАППП ГА-2004). М: Воениздат, 2004. 336 с.
4. Арбузов И.В., Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224 с.
5. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95) (1995). М.: Транспорт. 204 с.
6. Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С., Ковалев В.И. Полетная видимость. Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. 280 с.
7. Баранов А.М. Авиационная метеорология / А.М. Баранов, С.В. Солонин. СПб.: Гидрометеоздат, 1981, 186 с.
8. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. М.: АСТ: Астрель, 2006. 991 с.

MODELS OF VISIBILITY CHARACTERISTICS

FOR METEOROLOGICAL SUPPORT OF CIVIL AND STATE

Golunov A. S.¹, Dorofeev V. V.², Kuznetsov I. E.³, Nasonov A. A.⁴, Stepanov A. V.⁵

*^{1,2,3,4,5}Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation
E-mail: ¹meteo_box@mail.ru*

The experience of meteorological support for civil and state aviation has shown that with low clouds (the height of the lower boundary is less than 600 m), information about the meteorological visibility range (MDV) is insufficient for visual detection of small objects (MO) (a car, a group of people, a person, etc.). Visual detection of the MO is possible with

the help of the visibility characteristics of these objects obtained against the background of the terrain and allowing for taking into account the height, the speed of the aircraft (as applied to helicopters), the type of horizontal visibility distribution with height, the detection range threshold of the MO.

This leads to a contradiction between the MDV, which is a characteristic of horizontal visibility and the necessary characteristics of the visibility of the MO against the background of the terrain from the height of the helicopter flight.

The resolution of the contradiction requires solving the scientific problem of constructing models of the visibility characteristics of the MO against the background of the terrain, at different speeds and altitudes of the helicopter flight.

Therefore, the purpose of the article is to improve the quality of meteorological support of the GA by developing models of visibility characteristics for helicopter flights.

The constructed model of visibility characteristics differs from the known models by taking into account the brightness contrast of the MO against the background of the terrain, the visibility diagram, the linear size of the MO, the speed and altitude of the helicopter, as well as the type of horizontal visibility distribution with height. In addition, this model will make it possible to assess the probability of detecting MO, it also takes into account the level of training of flight personnel and allows you to make weather-dependent decisions to perform visual search and detection of MO using civil and state aviation helicopters.

Keywords: the type of horizontal visibility distribution with altitude, meteorological visibility range, flight visibility range, small-sized objects, detection range threshold, probability of visual object detection.

References

1. Dorofeev V.V., Baklanov I.O., Stepanov A.S., ZHil'chuk I.A., Kovalyov V.I. Poletnaya vidimost'. Monografiya. Voronezh, Voronezhskij CNTI, 2013. 250 s. (in Russian).
2. Kmito A.A., Smirnov P.I. Obschij kurs meteorologii. CHast' II. L.: VVIA im. prof. A.F. Mozhajskogo, 1959. 182 s. (in Russian).
3. Federal'nye aviacionnye pravila proizvodstva poletov gosudarstvennoj aviacii Rossijskoj Federacii (FAPPP GA-2004). M: Voenizdat, 2004. 336 s. (in Russian).
4. Arbuzov I.V., Bolhovitinov O.V. Boevye aviacionnye komplekсы i ih effektivnost'. M.: VVIA im. prof. N.E. ZHukovskogo, 2008. 224 s. (in Russian).
5. Nastavlenie po meteorologicheskomu obespecheniyu grazhdanskoj aviacii Rossii (NMO GA-95) (1995). M.: Transport. 204 s. (in Russian).
6. Dorofeev V.V., Nahmanson G.S., Kovalev V.I. Poletnaya vidimost'. Voronezh: Voronezhskij CNTI – filial FGBU «REA» Minenergo Rossii, 2013. 280 s. (in Russian).
7. Baranov A.M. Aviacionnaya meteorologiya / A.M. Baranov, S.V. Solonin. SPb.: Gidrometeoizdat, 1981, 186 s. (in Russian).
8. Vygodskij M.YA. Spravochnik po vьsshej matematike / M.YA. Vygodskij. M.: AST: Astrel', 2006. 991 s. (in Russian).

Поступила в редакцию 06.04.2023 г.