

УДК 551.507.362

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БОРТА ВОЗДУШНОГО СУДНА В ЦЕЛЯХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

В.И. Ковалев, М.И. Ковалева

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

В работе рассматриваются перспективы развития гидрометеорологического обеспечения авиации для производства гелио и геофизических исследований в темное время суток, приведена оценка решаемых задач в различных условиях. Предложены методические аспекты оценки параметров воздушной навигации при производстве аэрофотосъемки с борта воздушного судна в целях геофизического мониторинга в темное время суток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВОЗДУШНАЯ НАВИГАЦИЯ, ВИДИМОСТЬ, НОЧЬ.

В настоящее время происходит активное внедрение специальных воздушных судов (ВС) для производства гелио и геофизических исследований. Данные ВС оборудованы специальными средствами которые с достаточно большой точностью производят исследования земной поверхности. Данный подход считается наиболее эффективным, так как позволяет охватывать большие и труднодоступные территории.

Специфика выполнения таких специальных полетов накладывает повышенные требования на их выполнение. Так, полеты должны производиться на малых и предельно малых высотах, по правилам визуальных полетов, как в светлое, так и в темное время суток, при ограниченных метеорологических условиях.

Также возможности применения данных ВС регламентированы руководящими документами по производству полетов на территории Российской Федерации. И одним из главных параметров возможности выполнения специальных полетов является соответствие метеорологическим условиям возможности выполнения полетов. Специальная аппаратура, используемая для производства исследований, вносит свои коррективы на возможность применения ВС. Исходя из этого возникает несколько задач, которые необходимо решить перед планированием производства полета на гелио и геофизические исследования земной поверхности:

- оценка соответствия метеорологических условий возможности выполнения полета;
- оценка наиболее эффективных параметров воздушной навигации (скорость и высота полета) для производства полета.

Важным метеорологическим параметром, который самым существенным способом влияет на возможность выполнения полета и от которого зависит выбор параметров воздушной навигации, является видимость. Так для выполнения полетов по правилам визуальных полетов (ПВП) в темное время суток необходима фактическая и прогностическая информация не только о высоте нижней границы облаков и метеорологической дальности видимости (МДВ), но, прежде всего, и о наклонной полетной дальности видимости (НПДВ) самосветящихся объектов. Это объясняется тем, что согласно требованиям руководящих документов, возможность выполнения полетов по ПВП определяется НПДВ. Дальность видимости в темное время суток оценивается, согласно руководств и наставлений, по самосветящимся объектам (огням), которыми являются лампы накаливания 60 Вт [1, 2, 3].

Оценка возможности выполнения полетов в настоящее время осуществляется на основе данных воздушного разведчика погоды, так как отсутствуют надежные методики прогноза НПДВ самосветящихся объектов по данным наземных наблюдений в темное время суток [3].

На сегодняшний момент данные задачи остаются нерешенными, что часто приводит к отсутствию безопасности и низкой эффективности выполнения полетного задания данными ВС.

Исходя из этого в работе предлагаются методические аспекты оценки параметров воздушной навигации при производстве аэрофотосъемки с борта ВС в целях геофизического мониторинга в темное время суток.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ПОЛЕТНОЙ ВИДИМОСТИ В ТЁМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

Самосветящиеся объекты, с которыми устанавливается визуальный контакт, излучают белый свет во всю верхнюю полусферу. Метод расчета НПДВ обнаружения и опознавания самосветящихся объектов основан на комплексном использовании теории негоризонтальной видимости огней по диаграммам видимости огней ненаправленного действия [4].

Диаграмма видимости огня ненаправленного действия в темное время суток описывается уравнением вида [2]:

$$\frac{X^2}{S_{мдв}^2} + \frac{Y^2}{H_{верт}^2} = 1 \quad (1)$$

где $S_{мдв}$ – горизонтальная видимость огня (в темное время суток соответствует МДВ) в метрах; $H_{верт}$ – вертикальная видимость огня в метрах; X и Y – координаты, описывающие диаграмму видимости огня, в метрах.

Указанные диаграммы видимости характеризуют границу зон видимости огней в темное время суток по значениям МДВ и вертикальной видимости огней.

При обнаружении самосветящихся объектов необходимо определить следующие параметры (рисунок 1):

- 1) $S_{нпдв1}$ – дальность видимости, на которой объект обнаруживается при путевой скорости $W=0$ км/ч;
- 2) $S_{нпдв2}$ – дальность видимости, на которой объект, обнаруживается при путевой скорости $W>0$ км/ч;
- 3) $S_{нпдв3}$ – дальность видимости, на которой будет потерян визуальный контакт с объектом (угол визирования более 14°).

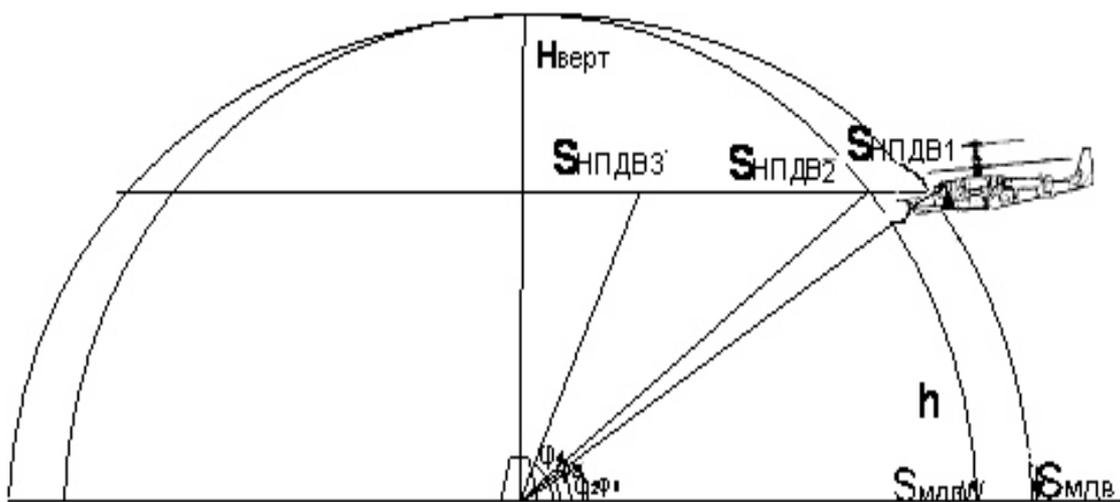


Рис. 1. Параметры обнаружения самосветящегося объекта с борта ВС.

Вид диаграммы видимости зависит от распределения горизонтальной дальности видимости с высотой. Они определены на основе данных воздушной навигации, полученных от воздушных разведчиков погоды. Установлено три типа диаграмм видимости, представленные на рис.2, по которым проводились расчеты:

- под I типом диаграмм видимости принимаются условия, когда горизонтальная видимость с высотой падает (полет в подоблачной дымке);
- под II типом диаграмм видимости принимается однородная атмосфера от земли до высоты полета воздушного (полет в однородной атмосфере);
- под III типом диаграмм видимости принимается случай, когда горизонтальная видимость с высотой увеличивается (приземные туманы и дымки).

Определить тип распределения горизонтальной дальности видимости с высотой, форму и количество баллов облаков на маршруте полета в темное время суток по данным наземных наблюдений является очень проблематично, в связи с высокими погрешностями наблюдения. Для решения этой проблемы предлагается использовать метеорологические наблюдения (оптическую плотность облаков и количество баллов), полученные на основе радиолокационной разведки погоды «МРЛ Метеочейка» [1].

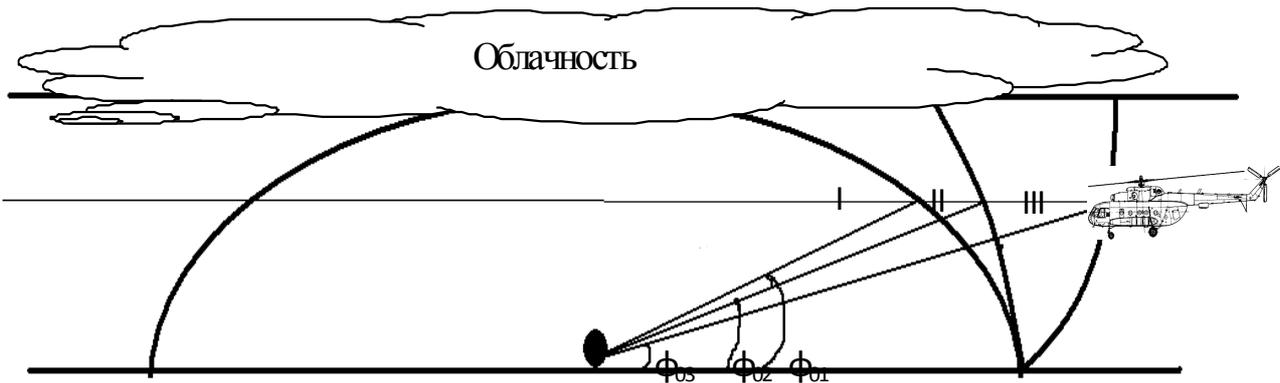


Рис. 2. Типы диаграмм видимости самосветящегося объекта.

Для оценки возможности выполнения летным составом задания и оценки оптимальных параметров воздушной навигации при различных метеорологических условиях, были рассчитаны следующие критерии:

Предельный угол визирования самосветящегося объекта (φ_{xy} , где x – параметр обнаружения, y – тип диаграмм видимости) в соответствии с различными параметрами обнаружения и типами диаграмм видимости находится по формуле:

- для I типа распределения диаграмм видимости:

$$\operatorname{tg} \varphi_{21} = \frac{h}{S_{\text{мдв}} \sqrt{1 - \frac{h^2}{H_{\text{верт}}^2} - t_{\text{ак}} W}}, \tag{2}$$

где x – параметр обнаружения, y – тип диаграмм видимости, h – высота полета ВС, м; $t_{\text{ак}}$ – время аккомодации, с; W – путевая скорость полета ВС, м/с.

- для II типа распределения диаграмм видимости:

$$\operatorname{tg} \varphi_{22} = \frac{h}{S_{\text{мдв}} \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{\text{мдв}}^2} - t_{\text{ак}} W}}. \tag{3}$$

- для III типа распределения диаграмм видимости:

$$\operatorname{tg} \varphi_{23} = \frac{h}{S_{\text{мдв}} \sqrt{1 + \frac{h^2}{H_{\text{верт}}^2} - t_{\text{ак}} W}} \tag{4}$$

При $W=0$ км/ч для I типа:

$$tg \varphi_{11} = \frac{h}{S_{мдв} \sqrt{1 - \frac{h^2}{H_{верт}^2}}}, \quad (5)$$

При $W=0$ км/ч для II типа:

$$tg \varphi_{12} = \frac{h}{S_{мдв} \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{мдв}^2}}}, \quad (6)$$

При $W=0$ км/ч для III типа:

$$tg \varphi_{13} = \frac{h}{S_{мдв} \sqrt{1 + \frac{h^2}{H_{верт}^2}}}, \quad (7)$$

Задача расчета угла визирования при потере контакта является выполненной при достижении угла визирования 14° и более.

Время наблюдения самосветящегося объекта ($t_{наб}$) с высоты h определяется по формуле:

- для I типа диаграмм видимости:

$$t_{наб21} = \frac{S_{мдв} \sqrt{1 - \frac{h^2}{H_{верт}^2}} - t_{ак} \cdot W - 4.02 \cdot h}{W}, \quad (8)$$

- для II типа диаграмм видимости:

$$t_{наб22} = \frac{S_{мдв} \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{мдв}^2}} - t_{ак} \cdot W - 4.02 \cdot h}{W}, \quad (9)$$

- для III типа диаграмм видимости:

$$t_{наб23} = \frac{S_{мдв} \sqrt{1 + \frac{h^2}{H_{верт}^2}} - t_{ак} \cdot W - 4.02 \cdot h}{W}, \quad (10)$$

Максимальная высота обнаружения огня в темное время суток ($h_{\text{макс}}$) находится по формуле:

- для I и III типа диаграмм видимости:

$$h_{\text{макс,xy}} = \frac{0,062 \cdot S_{\text{мдв}}^2}{1 + 0,062 \frac{S_{\text{мдв}}^2}{H_{\text{верт}}^2}}, \quad (11)$$

- для II типа диаграмм видимости:

$$h_{\text{макс,x2}} = \frac{0,062 \cdot S_{\text{мдв}}^2}{1 + 0,062 \frac{S_{\text{мдв}}^2}{S_{\text{мдв}}^2}}, \quad (12)$$

Наклонная полетная дальность видимости самосветящегося объекта ($S_{\text{НПДВ}}$):

- для I типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{ндв21}} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{H_{\text{верт}}^2} - t_{\text{ак}}W}}))} \quad (13)$$

- для II типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{ндв22}} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{\text{мдв}}^2} - t_{\text{ак}}W}}))} \quad (14)$$

- для III типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{ндв23}} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 + \frac{h^2}{H_{\text{верт}}^2} - t_{\text{ак}}W}}))} \quad (15)$$

Следовательно, если $W = 0$ км/ч, то $S_{\text{ндв}i}$ рассчитывается по тем же формулам без последнего слагаемого в знаменателе:

НПДВ при которой будет потерян объект в темное время суток определяется по формуле:

- для I типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{ндв}i} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{H_{\text{верт}}^2} - t_{\text{ак}} \cdot W - 4,02 \cdot h}}))} \quad (16)$$

- для II типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{вид}32} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{\text{мдв}}^2} - t_{\text{ак}} \cdot W - 4.02 \cdot h}})}), \quad (17)$$

- для III типа диаграмм видимости:

$$S_{\text{вид}33} = \frac{h}{\sin(\arctg(\frac{h}{S_{\text{мдв}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{S_{\text{мдв}}^2} - t_{\text{ак}} \cdot W - 4.02 \cdot h}})}), \quad (18)$$

Исходя из выше определенных формул видно, что при расчете НПДВ инженеру-метеорологу необходимо знать поставленную перед ним задачу и тип распределения горизонтальной дальности видимости. В соответствии с этим по данным формулам (1-18) рассчитывается НПДВ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе приведенных выше условий для оценки воздушной навигации решаются следующие задачи:

Дальность видимости, на которой объект обнаруживается при путевой скорости $W=0$ км/ч, в первом типе диаграмм видимости по формулам (5; 11);

Дальность видимости, на которой объект обнаруживается при путевой скорости $W=0$ км/ч, во втором типе по формуле (5; 12);

Дальность видимости, на которой объект обнаруживается при путевой скорости $W=0$ км/ч, в третьем типе диаграмм видимости по формулам (7; 11);

1. Дальность видимости, на которой объект, обнаруживается при путевой скорости $W>0$ км/ч, в первом типе диаграмм видимости по формулам (2; 8; 13);

2. Дальность видимости, на которой объект, обнаруживается при путевой скорости $W>0$ км/ч, во втором типе диаграмм видимости по формулам (3; 9; 14);

3. Дальность видимости, на которой объект, обнаруживается при путевой скорости $W>0$ км/ч, в третьем типе диаграмм видимости по формулам (4; 10; 15);

Дальность видимости, на которой будет потерян визуальный контакт с объектом (угол визирования более 14°), в первом типе диаграмм видимости по формулам (16);

Дальность видимости, на которой будет потерян визуальный контакт с объектом (угол визирования более 14°), во втором типе диаграмм видимости по формулам (17);

Дальность видимости, на которой будет потерян визуальный контакт с объектом (угол визирования более 14°), в третьем типе диаграмм видимости по формулам (18).

Предложенный метод позволяет рассчитать параметры воздушной навигации ВС, при которых можно обнаружить самосветящиеся объекты, по данным наземных наблюдений и данных, полученных от метеорологических радиолокационных станций по району полетов.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ

Оценка достоверности была произведена на основе критериев успешности [2] – коэффициента корреляции (r), средней абсолютной ошибки расчета (η) и средней квадратической ошибки расчета (σ). Полученные данные представлены в виде таблиц 1,2,3,4.

Таблица 1
Значения критериев успешности (r , σ , η) при определении времени наблюдения самосветящегося ориентира ($t_{\text{набл}}$)

	r	σ, c	η, c
Время наблюдения самосветящегося ориентира	0,91	25	19

Таблица 2
Значения критериев успешности (r , σ , η) при определении максимальной высоты обнаружения самосветящегося ориентира (h)

	При скорости полета = 0 км/ч			При скорости полета >0 км/ч		
	r	σ, m	η, m	r	σ, m	η, m
Максимальная высота обнаружения	0,93	6,7	5,4	0,91	6,7	5,4

Таблица 3
Значения критериев успешности (r , σ , η) при определении наклонной полетной дальности видимости самосветящегося ориентира ($S_{\text{вид}}$)

	При скорости полета =0 км/ч			При скорости полета >0 км/ч		
	r	σ, m	η, m	r	σ, m	η, m
Наклонная полетная дальность видимости	0,94	188,2	156,3	0,85	210,4	180,5
Наклонная полетная дальность видимости	0,88	205,5	160,7	0,84	223,1	176,9

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ

Для практической реализации данного метода оценки НПДВ самосветящихся объектов в темное время суток, предлагается пакет программ, позволяющий специалисту оперативно рассчитать параметры воздушной навигации и выдать рекомендации для руководящего и летного состава для оптимального использования воздушного пространства в темное время суток.

Представленная программа позволяет оценить реальную горизонтальную дальность видимости (РГДВ), которая зависит от естественной освещенности как основного фактора дальности видимости в темное время суток. Естественная освещенность, в свою очередь, складывается из освещенности, создаваемой Луной и ее ослабление, связанное с плотностью и количеством облаков (рис. 3).

Рис.3. Начальная страница программы расчета НПДВ.

На втором этапе (рис. 4) программа на основе предложенной выше методики производит расчет НПДВ самосветящихся ориентиров. Входными параметрами являются скорость и высота полета, тип и задача, метеорологическая дальность видимости, которая в темное время суток представляет горизонтальную дальность видимости и вертикальная дальность видимости.

Программа позволяет отобразить зависимости угла визирования, времени наблюдения, максимальной высоты полета и НПДВ от МОДВ.

Эта функция позволит производить выбор оптимального решения для наилучших параметров воздушной навигации (рис.4).

Решаемая задача

Энгле 1 - дальность видимости, на которой объект обнаруживается при путевой скорости $W=0$

Диаграммы направленности

под I типом диаграмм видимости принимаются условия, когда горизонтальная дальность с высотой падает - это соответствует полетам в I, II и III (полет выше уровня конденсации) типе распределения горизонтальной дальности видимости с высотой (полет в подоблачной дымке)

Высота полёта (h , м)	Скорость полёта (W , км/ч)	Метеорологическая дальность видимости ($S_{мдв}$, м)	Вертикальная дальность видимости ($H_{вдв}$, м)	Результат												
<input type="text" value="250"/>	<input type="text" value="400"/>	<input type="text" value="3999"/> <input type="button" value="Рассчитать МОДВ"/>	<input type="text" value="4100"/>	<table border="1"> <tr> <td>Предельный угол визирования</td> <td><input type="text" value="0,06823305364"/></td> <td><input type="button" value="График"/></td> </tr> <tr> <td>Время наблюдения</td> <td><input type="text" value="23,8790299743"/></td> <td><input type="button" value="График"/></td> </tr> <tr> <td>Максимальная высота обнаружения</td> <td><input type="text" value="4083,11577800"/></td> <td><input type="button" value="График"/></td> </tr> <tr> <td>Наклонная полётная дальность видимости</td> <td><input type="text" value="3999,38024457"/></td> <td><input type="button" value="График"/></td> </tr> </table>	Предельный угол визирования	<input type="text" value="0,06823305364"/>	<input type="button" value="График"/>	Время наблюдения	<input type="text" value="23,8790299743"/>	<input type="button" value="График"/>	Максимальная высота обнаружения	<input type="text" value="4083,11577800"/>	<input type="button" value="График"/>	Наклонная полётная дальность видимости	<input type="text" value="3999,38024457"/>	<input type="button" value="График"/>
Предельный угол визирования	<input type="text" value="0,06823305364"/>	<input type="button" value="График"/>														
Время наблюдения	<input type="text" value="23,8790299743"/>	<input type="button" value="График"/>														
Максимальная высота обнаружения	<input type="text" value="4083,11577800"/>	<input type="button" value="График"/>														
Наклонная полётная дальность видимости	<input type="text" value="3999,38024457"/>	<input type="button" value="График"/>														

Рис. 4. Страница программы расчета НПДВ.

Оценка достоверности предложенной методики была произведена на основе данных, полученных от воздушных разведчиков погоды с одновременными наземными метеонаблюдениями на аэродроме Липецкого авиацентра и аэродрома Чкаловский. Полученные критерии оправдываемость данной методики позволяют применять её для планирования полетов на малых и предельно малых высотах.

Предложенная методика позволит оценить оптимальные параметры воздушной навигации, при которых возможно производство аэрофотосъемки с борта ВС в целях геофизического мониторинга в темное время суток

METHODICAL ASPECTS OF THE ESTIMATION OF PARAMETERS OF AIR NAVIGATION BY MANUFACTURE OF AIR PHOTOGRAPHY FROM THE BOARD OF THE AIR VESSEL WITH A VIEW OF GEOPHYSICAL MONITORING DURING DARK TIME OF DAYS

V.I. Kovalyov, M.I. Kovalyova

In work prospects of development of hydrometeorological maintenance of aircraft for manufacture гелио and geophysical researches during dark time of days are considered, the estimation of solved problems in various conditions is resulted. Methodical aspects of an estimation of parametres of air navigation are offered by manufacture of air photography from a board of an air vessel with a view of geophysical monitoring during dark time of days.

KEYWORDS: AIR NAVIGATION, VISIBILITY, NIGHT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билетов М.В., Тищенко А.И., Кузнецов И.Е. Основы радиолокационной метеорологии: учебник. М.: Воениздат: 2008. 332 с.
2. Вавилов С.И. Глаз и солнце. М.: Академия наук СССР, 1956. 128 с
3. Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С., Ковалев В.И. Видимость в атмосфере для авиационных целей: монография. Воронеж: ВАИУ, 2010. 252 с.
4. Шаронов В.В. Свет и цвет. М.: Государственное издание физико-математической литературы, 1961. – 311 с.