

## ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТА МЕСТНОСТИ НА ВИДИМОСТЬ НЕСАМОСВЕТАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НОЧЬЮ

В. В. Дорофеев, В. И. Ковалев

*Военный авиационный инженерный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 21 апреля 2008 г.*

**Аннотация:** В статье приводится методика расчета наклонной полетной дальности видимости в зависимости от обеспеченностей ландшафта и типов поверхности несамосветящихся ориентиров с учетом относительного превышения рельефа местности в темное время суток. Результаты работы могут быть использованы при метеорологическом обеспечении полетов в темное время суток.

**Ключевые слова:** ландшафт, несамосветящиеся объекты, наклонная полетная дальность, реальная горизонтальная дальность видимости.

**Abstract:** The article suggests the estimation method of inclined flight visibility range and the analysis of landscape type influence on it as well as the influence of nonlight-radiating objects with regard to relative heights of a lay of land during the night. The work results can be used for meteorological guarantee of flights at night.

**Key words:** landscape, nonlight-radiating objects, inclined flight visibility range, real horizontal visibility range.

Специальная авиация часто сталкивается в своей практике с кругом задач, которые требуют знания наклонной полетной дальности видимости несамосветящихся объектов ночью. К таким задачам можно отнести выполнение визуальных полетов на поисково-спасательные работы при чрезвычайных ситуациях и санитарной авиации в отдаленных районах Севера, Сибири и Дальнего Востока в темное время суток. Видимость зависит от яркостного контраста между объектом наблюдения и ландшафтом. Сезонная изменчивость природных покровов ландшафта приводит к существенному влиянию на видимость.

Выявлено, что видимость с борта воздушного судна несамосветящихся объектов ночью зависит от ландшафта местности и типа поверхности (матовые или глянцевые) выбираемых ориентиров [1, 2].

В нашем случае выполнена оценка влияния ландшафта местности на наклонную полетную дальность видимости (НПДВ) несамосветящихся объектов в темное время суток при однородной прозрачности атмосферы. Под однородной прозрачностью атмосферы принято понимать атмо-

сферу с одинаковым коэффициентом прозрачности от земли до высоты нижней границы облаков [3, 4].

В качестве исходных данных мы использовали теоретические исследования видимости в атмосфере, значения превышения рельефа местности, характер подстилающей поверхности, значения видимости несамосветящихся ориентиров в темное время суток, полученные от экипажей воздушных судов за 2002-2007 годы.

Нижний слой атмосферы, в котором происходят визуальные полеты в темное время суток, располагается в пределах пограничного слоя, высота которого достигает 1000-1500 м. В этом слое наиболее сильно сказывается тепловое и механическое влияние ландшафта Земли. Неровности рельефа местности, наличие или отсутствие растительного покрова и водных объектов изменяют температурный режим, влажность воздуха и скорость ветра, что в свою очередь влияет на изменение реальной горизонтальной дальности видимости (РГДВ) несамосветящихся объектов ночью, а следовательно, и на наклонную полетную дальность видимости (НПДВ).

При перемещении облачности над пересеченной местностью высота ее нижней границы значительно понижается над возвышенными участ-

ками, при этом обычно наблюдается ухудшение видимости несамосветящихся объектов в ночное время [1, 8]. Над лесными и водными массивами, а также над заболоченными участками относительная влажность воздуха увеличивается, что приводит к понижению облачности и к ухудшению видимости [1, 6, 7].

Большое влияние на РГДВ несамосветящихся объектов ночью оказывают массивы с городской застройкой [9]. Это объясняется тем, что в городе тепловой режим подстилающей поверхности иной, чем в окружающей его местности. Влияние крупных городов на элементы погоды, сказывается вплоть до удаления от подветренной стороны на несколько десятков километров [5, 6, 7]. Эти изменения связаны с возникновением в городах островов тепла, отличающихся повышенной по сравнению с окружающей местностью температурой воздуха [1, 2].

Из изложенного выше становится ясно, что рельеф местности и характер подстилающей поверхности существенно влияют на РГДВ, от которой зависит естественная освещенность несамосветящихся объектов в темное время суток а следовательно оказывает влияние и на НПДВ [3].

К несамосветящимся объектам ночью мы относим все естественные объекты и искусственные сооружения, которые отражают свет.

Расчет НПДВ несамосветящихся объектов ночью для однородной атмосферы ( $S_{p.нк}$ ) производится по формуле [1, 5]:

$$S_{p.нк} = \frac{S_{p.гр.}}{\cos \theta_w}, \quad (1)$$

где  $S_{p.гр.}$  – РГДВ несамосветящегося объекта ночью, м;  $\theta_w$  – угол визирования, град.

РГДВ ( $S_{p.гр.}$ ) рассчитывается по формуле:

$$S_{p.гр.} = \frac{1}{\mu} \ln \frac{K_0/\varepsilon + B/B_\phi - 1}{B/B_\phi}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – показатель ослабления, 1/м;  $\varepsilon$  – порог контрастной чувствительности глаза,  $K_0$  – первоначальный не искаженный атмосферой контраст между объектом и фоном;  $B$  – коэффициент, характеризующий состояние яркостного «насыщения» слоя помутнения,  $B_\phi$  – яркость фона.

Угол визирования ( $\theta_w$ ), рассчитывается по формуле:

$$\theta_w = \theta + 57,3 \frac{W \cdot t}{H_{пол}} \sin \theta \sqrt{1 - \cos^2 \theta \cdot \cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $W$  – путевая скорость воздушного судна, м/с;  $H_{пол}$  – высота полета ВС, м;  $\alpha$  – курсовой угол наблюдения, град.;  $t$  – время аккомодации зрения пилота, с;  $\theta$  – минимальный угол визирования для высоты полета без учета путевой скорости, рассчитываемый по формуле:

$$\theta = \arctg \frac{H_{пол}}{S_{p.гр.}}. \quad (4)$$

Дальность видимости несамосветящихся объектов в сумерки и ночью в основном зависит от их освещенности и освещенности ландшафта. Прозрачность же атмосферы, выраженная, например, через метеорологическую оптическую дальность видимости, ночью играет второстепенную роль [1, 3, 5].

НПДВ несамосветящихся объектов в темное время суток является сложной функцией зависящей от состояния внешней среды, условий воздушной навигации, ландшафта местности [1, 3, 5].

Несамосветящиеся объекты в границах одноводного ландшафта, выбранные как ориентиры, делятся на 2 типа [7]: *глянцевые*, обладающие повышенной отражательной способностью (реки, озера, пруды и т.д.); *матовые*, поверхности повышенной шероховатости, к которым относятся леса, горы, поля и т.д.

Причем необходимо учитывать, что они могут, изменяться и взаимно заменяться в зависимости от метеорологических условий.

В исследовании отражательной способности различных деталей ландшафта сделаны в последние годы значительные успехи [3, 5, 6]. Особенно значимы в этом направлении труды советского исследователя Е.Л. Кринова. Результатом многолетней работы ученого явился уникальный каталог кривых спектральной отражательной способности сотен различных природных объектов, который и служит основной базой наших сведений по этому вопросу.

Природные покровы ландшафта по отражательной способности и по создаваемому ими контрасту с объектами, находящимися в их границах, можно разделить на три класса [7].

I класс. Кривая дает ряд неправильных небольших волн, но не обнаруживает какого либо общего монотонного хода вдоль спектра. К этому классу относятся снег, лед, некоторые горные породы белого, серого и черного цвета, некоторые формы мертвых растительных покровов.

II класс. Кривая непрерывно повышается от фиолетового конца спектра к красному. К рассмат-

риваемому классу относится подавляющее большинство минералов, горных пород, почв, грунтов, а также образцов сухой растительности.

III класс. Зеленые растительные объекты, окрашенные специфическим для зелени пигментом – хлорофиллом, отличаются характерным видом кривой, идущей почти параллельно оси абсцисс в сине-фиолетовой части. В зависимости от этого меняется и цвет объекта. Так, при незначительном наклоне и большой высоте кривой объект кажется светло-желтым, «кремовым», слегка розоватым.

Природные покровы, окраска которых не укладывается в указанные три класса, очень редки. Так, объекты синего и фиолетового цвета хотя и встречаются в природе, но они лишь в исключительных случаях способны скапливаться в больших количествах, чтобы окрасить участки суши.

Общеизвестной особенностью средних широт является периодические перемены в ее отражательной способности, связанные с сезонными изменениями в природе. Сезонная смена яркости на протяжении года, выраженная в пределах представленной классификации, может быть представлена схемой [7]:

I - II - III - II - I

В бедных влагой районах, где растительность выгорает летом, схема будет выглядеть [7]:

I - II - III - II - III - II - I

Влияние относительного превышения рельефа местности ( $\Delta h$ ) с разным растительным покровом и водными объектами в различных типах синоптической ситуации на РГДВ несамосветящихся объектов ночью учитывается путем расчета из-

менения РГДВ ( $\Delta S_{p,гр}$ ) по данным аэродрома (пункта) вылета в радиусе до 150 км:

$$\Delta S_{p,гр} = \pm d \Delta h, \quad (5)$$

где  $\Delta h$  – относительное превышение (понижение) рельефа местности, м;  $d$  – изменение (уменьшение или увеличение) РГДВ несамосветящихся объектов ночью, м;  $d$  – коэффициент (знак «-» – относительное превышение, «+» – относительное понижение) рельефа местности.

Значение коэффициентов для расчета изменений  $\Delta S_{p,гр}$  несамосветящихся объектов ночью с учетом относительного превышения рельефа местности в различных типовых синоптических ситуациях циклона (Zn) и антициклона (Az) в качестве примера представлены в таблице 1.

Анализ зависимости изменения РГДВ несамосветящихся объектов ночью от относительного превышения рельефа местности, растительного покрова и в различных типовых синоптических ситуациях позволяет сделать следующие выводы.

1. В циклонах наибольшее изменение РГДВ несамосветящихся объектов ночью на уменьшение (увеличение) в зависимости от относительного превышения местности наблюдается в передней части ( $24,3\Delta h$ ), что объясняется влиянием теплового фронта и сходимости потоков перед линией теплового фронта. Наименьшее изменение наблюдается в тыловой части, что объясняется затоком холодного воздуха с запада, северо-запада. При этом изменение максимально в переходный период года для лесистой местности с водными объектами и минимально для зимнего периода при

Таблица 1

Значение коэффициента ( $d$ ) для расчета изменений РГДВ несамосветящихся объектов в темное время суток в различных типовых синоптических ситуациях с учетом относительного превышения рельефа местности ( $\Delta h$ ), растительного покрова и водных объектов

Тип синоптической ситуации	Лес река		Без леса и реки		Лес без реки		Река без леса	
	Зима	Осень-весна	Зима	Осень-весна	Зима	Осень-весна	Зима	Осень-весна
Тыл Zn	7,3	10,1	4,8	7,8	6,7	8,9	4,3	8,9
Перед. часть Zn	19,8	24,3	17,9	21,2	19,6	23,3	16,8	23,2
Теплый сектор Zn	10,8	16,7	9,9	12,2	10,8	15,1	9,4	13,9
Центр Zn	11,2	16,1	9,1	13,1	10,2	14,3	8,4	12,8
Гребень Az	5,6	6,2	5,3	6,5	5,4	5,9	6,2	6,7
Западная периферия Az	7,1	9,1	6,8	8,5	7,2	7,8	6,9	6,5
Восточная периферия Az	4,8	5,2	4,1	5,3	5,8	5,3	5,3	4,8

отсутствии леса и водных объектов (это объясняется повышенной влажностью в лесу и дополнительным притоком влаги при наличии водоема). Для антициклона данная местность и время года влияют аналогично, хотя влияние это меньше примерно в 3-4 раза.

2. В антициклонах наибольшее изменение РГДВ несамосветящихся объектов ночью в зависимости от относительного превышения местности наблюдается в западной периферии, что объясняется затоком теплого, влажного воздуха с юга. Наименьшее изменение наблюдается в восточной периферии антициклона, что объясняется затоком холодного воздуха с севера, северо-запада. При этом, так же, как и в случае циклона, изменение максимально в переходный период года для лесистой местности с водными объектами и минимально для зимнего периода при отсутствии леса и водных объектов.

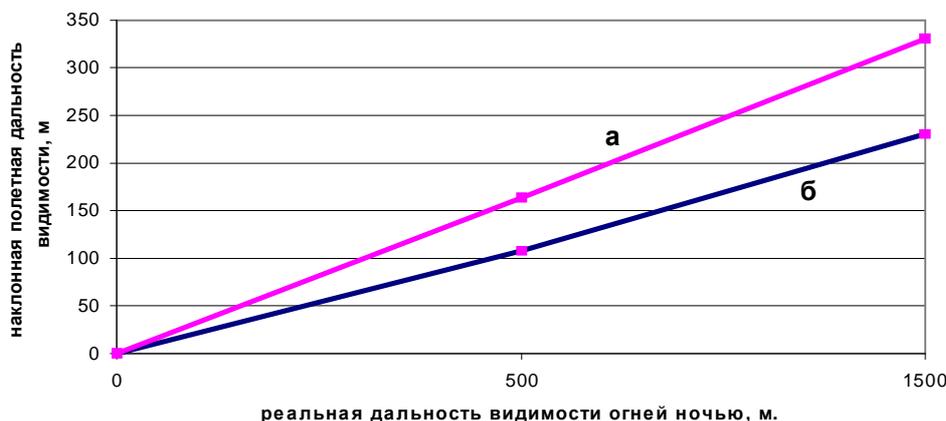
РГДВ по маршруту в темное время суток с учетом относительного превышения рельефа местности РГДВ ( $S_{p,гр}$ ) рассчитывается по формуле:

$$S_{p,гр} = S_{p,гр.аэр} \pm \Delta S_{p,гр}, \quad (6)$$

где  $S_{p,гр.аэр}$  – РГДВ на аэродроме вылета, м.

Расчеты НПДВ с учетом относительного превышения рельефа для различных классов ландшафта местности и типа поверхности ориентира, в качестве примера, приведены на рис. 1, 2 в виде зависимости НПДВ от РГДВ для одинаковых условий воздушной навигации и состояния внешней среды.

Достоверность предложенной методики расчета НПДВ несамосветящихся объектов ночью проведена по критериям успешности ( $R$  – коэффициент корреляции между рассчитанными и фактическими значениями,  $\sigma$  – среднеквадратическая



а) глянцевая поверхность; б) матовая поверхность

Рис. 1. Зависимость НПДВ от РГДВ несамосветящихся объектов в темное время суток при полете над равнинной местностью III класса

( $W=200$  км/ч,  $H_{пол}=300$  м,  $ВНГО=400$  м,  $\epsilon=0,2$ )



а) глянцевая поверхность; б) матовая поверхность

Рис. 2. Зависимость НПДВ от РГДВ несамосветящихся объектов в темное время суток при полете местности над равнинной местностью I класса

( $W=200$  км/ч,  $H_{пол}=300$  м,  $ВНГО=400$  м,  $\epsilon=0,2$ )

Таблица 2

Критерии успешности ( $R$ ,  $\sigma$ ,  $\eta$ ) расчета наклонной полетной дальности видимости ночью при однородной прозрачности атмосферы

Класс ландшафта местности	Критерии успешности							
	Матовые поверхности			Кол-во случаев	Глянцевые поверхности			Кол-во случаев
	R	$\sigma$ , м	$\eta$ , м		R	$\sigma$ , м	$\eta$ , м	
I класс	0,93	118,6	92,1	200	0,90	124,3	99,7	150
II класс	0,89	133,2	100,1	200	0,85	141,4	112,9	150
III класс	0,81	148,8	115,1	300	0,76	154,2	128,6	200

Таблица 3

Критерии успешности ( $R$ ,  $\sigma$ ,  $\eta$ ) расчета изменений НПДВ несамосветящихся объектов ночью для различных относительных превышений рельефа местности при однородной прозрачности атмосферы

Относительное превышение рельефа	Критерии успешности							
	Матовые поверхности			Кол-во случаев	Глянцевые поверхности			Кол-во случаев
	R	$\sigma$ , м	$\eta$ , м		R	$\sigma$ , м	$\eta$ , м	
100 м	0,91	11	9	100	0,88	14	11	100
250 м	0,87	15	14	100	0,82	24	22	100
500 м	0,80	24	21	150	0,75	30	28	150

ошибка расчета,  $\eta$  – средняя абсолютная ошибка расчета) в зависимости от расстояния.

Оценки достоверности по критериям успешности таблиц 2, 3 позволяют сделать вывод о возможности использования предложенной методики для расчета НПДВ несамосветящихся объектов ночью в зависимости от относительного превышения рельефа местности в радиусе до 150 км от аэродрома вылета (метеостанции).

Таким образом, на основании приведенной методики можно определить наклонную полетную дальность видимости для различных типов несамосветящихся объектов и классов ландшафта местности.

Из рис. 1 и 2 видно, что НПДВ несамосветящихся объектов (ориентиров) в темное время суток меньше РГДВ, причем дальность видимости глянцевых поверхностей больше, чем матовых. Расчеты подтверждают влияние класса ландшафта местности на НПДВ. Так, при I классе ландшафта видимость одного и того же типа объекта будет примерно в 2 раза лучше, чем для III класса ландшафта.

Полученные результаты можно использовать для оценки возможности выполнения полетов в темное время суток по правилам визуальных полетов, над местностью лишенной самосветящихся ориентиров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А. М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов / А. М. Баранов. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 205 с.
2. Вавилов С. И. Глаз и солнце / С. И. Баранов. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 128 с.
3. Дорофеев В. В. Наклонная дальность видимости в сложных метеорологических условиях : дис. ... д-ра географ. наук / В. В. Дорофеев. – Воронеж, 2007. – 209 с.
4. Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности / А. С. Топорец. – Л. : Машиностроение, 1989. – 191 с.
5. Матвеев Л. Т. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. – СПб. : Гидрометеиздат, 2000. – 780 с.
6. Майзель С. О. Свет и зрение / С. О. Майзель. – М. : Правда, 1948. – 18 с.
7. Шаронов В. В. Свет и цвет / В. В. Шаронов. – М. : Физматлит, 1961. – 311 с.

Дорофеев Виктор Васильевич

доцент кафедры гидрометеорологического обеспечения, доктор географических наук, Воронежского военного авиационного инженерного университета

Ковалев Вячеслав Игоревич

адъюнкт кафедры гидрометеорологического обеспечения, Воронежского военного авиационного инженерного университета, E-mail: slavko50@mail.ru

Dorofeyev Viktor Vasilyevich

Assistant professor Air Force Engineering University (Voronezh), Doctor of Geography

Kovalyov Vyacheslav Igorevich

Adjunct of hydrometeorological guaranteeing department Air Force Engineering University (Voronezh), E-mail: slavko50@mail.ru