

УДК 551.593;551.507.35

**В.С. Комаров, В.И. Акселевич, Г.В. Заболотников**

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИРОДА ВЛИЯНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВИАЦИИ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ**

Рассматривается проблема ослепления экипажа летательного аппарата при заходе на посадку в простых метеорологических условиях (ПМУ) при безоблачном небе, связанная с оптическими свойствами атмосферы и чувствительностью человеческого глаза. Произведен краткий обзор существующих теорий определения наклонной дальности видимости. Предлагается использование специальной программы для исключения опасности ослепления экипажей при осуществлении посадки в ПМУ. Даются рекомендации по учету оптических свойств атмосферы при обеспечении безопасности полетов летательных аппаратов.

Важную роль в освоении и промышленном развитии северных, в том числе нефтегазоносных, районов Сибири должна играть авиация. При выполнении ряда авиационных работ в интересах народного хозяйства экипажу воздушного судна (ВС) приходится осуществлять посадку на недостаточно оборудованных или вовсе необорудованных площадках и производить полет на предельно малой высоте. Для этого необходимо располагать информацией о видимости под углом к плоскости земной поверхности и в наклонном направлении.

При полете ВС по глиссаде после пролета ближнего привода точность аэронавигационных средств уже недостаточна для благополучного приземления. Пилот прекращает ориентироваться по приборам и начинает вести самолет с помощью визуального наблюдения, так как глаз летчика «чувствует» высоту гораздо точнее самых совершенных приборов в связи с психологическими особенностями человеческой личности [1].

В связи с этим возникла проблема, связанная с ухудшением посадочной видимости в простых метеорологических условиях (ПМУ), т.е. при безоблачном небе и хорошей горизонтальной видимости у поверхности земли, которая оказывает существенное влияние на степень безопасности полетов. При проведении полетов в ПМУ на ряде аэродромов неоднократно возникала необходимость ограничивать и даже приостанавливать полеты на 1,5–2,5 ч по причине ослепления экипажей Солнцем, находящимся в створе полосы и имеющим небольшую высоту над горизонтом (рис. 1).

Согласно [1] в ясный солнечный день атмосферная дымка по разным направлениям имеет неодинаковую яркость. Следовательно, по различным направлениям дальность видимости ориентиров и объектов ландшафта тоже будет неодинакова. Яркость атмосферной дымки при безоблачном небе по разным направлениям меняется в зависимости от положения Солнца. При определении наклонной видимости

взлетно-посадочной полосы (ВПП) и других реальных объектов фоном для экипажа является небо у горизонта, где атмосферная дымка достигает в оптическом плане состояния насыщения. Конструкция летательных аппаратов такова, что экипаж ВС в полете не может видеть объекты непосредственно под самолетом. Для каждого ВС существует максимально возможный угол обзора в направлении полета, определяемый остеклением кабины и другими конструктивными особенностями [2].

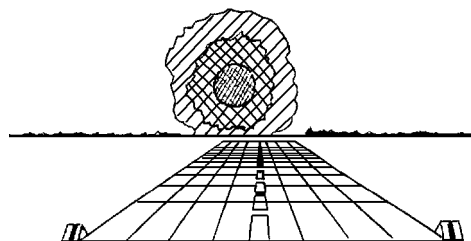


Рис. 1. Эффект слепящего воздействия Солнца, находящегося в створе ВПП низко над горизонтом, на экипаж, совершающий посадку в ПМУ

Как отмечает Л.Т. Матвеев [3], яркость небесного свода определяется условиями рассеивания солнечного света в атмосфере. В табл. 1 приводятся данные значений яркости  $L$  различных реальных объектов, заимствованные из [4, 5].

Таблица 1

**Яркость некоторых типичных реальных объектов**

Объект	$L$ , кд/м <sup>2</sup>
Солнечный диск, наблюдаемый сквозь атмосферу при стандартных условиях	$1,5 \cdot 10^9$
Дневное безоблачное небо	$(0,5-2) \cdot 10^4$
Предметы зеленого ландшафта при дневном освещении	$(1-30) \cdot 10^3$
Облачное небо в пасмурный день	$10^2$

Заметную роль в увеличении яркости небесного свода играет свет, отраженный от земной поверхно-

сти. Отражающие способности поверхностей природного ландшафта определяются их свойствами и внешними условиями, а именно высотой Солнца и метеорологическими факторами (наличием облачности, ее формой и высотой, степенью воздушной дымки и ее распределением по высоте) [6].

Исходя из угловых размеров радиуса околосолнечного ореола, можно утверждать, что в телесном угле  $\approx 20^\circ$  в направлении на Солнце в ПМУ при безоблачном небе создаются яркости, по величине приближающиеся к значению яркости, создаваемой солнечным диском. По мере снижения ВС по глиссаде посадочного курса, совпадающего с вертикалом Солнца, воспринимаемая экипажем яркость фона возрастает и достигает максимальной величины в момент, близкий к моменту касания летательным аппаратом ВПП.

Как известно из офтальмологии, воспринимаемый глазом диапазон яркости лежит в пределах  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup>, причем ослепляющая яркость равна  $2,24 \cdot 10^5$  кд/м<sup>2</sup>. Из табл. 1 следует, что солнечный диск, наблюдаемый сквозь атмосферу, имея яркость  $1,5 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>, производит на человеческий глаз безусловно ослепляющее действие. Кроме того, дневное безоблачное небо имеет яркость, близкую по значению к ослепляющей для человеческого глаза.

В.А. Гаврилов предложил номограммы для определения наклонной дальности видимости в начале ВПП, при составлении которых учитывается контраст между объектом (ВПП) и окружающим фоном [1, 6]. Расчеты наклонной дальности видимости производились по формуле

$$S_{\text{пос}} = 0,62 S_m \lg \frac{V + (B/B_{\text{ВПП}}) - 1}{B/B_{\text{ВПП}}}, \quad (1)$$

где  $V$  – коэффициент видимости объекта;  $B$  – максимальная яркость атмосферной дымки;  $B_{\text{ВПП}}$  – яркость ВПП;  $S_m$  – метеорологическая дальность видимости.

Однако использование формулы (1) для расчета посадочной видимости в ПМУ при безоблачном небе при расположении Солнца низко над горизонтом вблизи створа посадочного курса не представляется возможным, так как для условий, способствующих ослеплению пилота, величина  $V$  не определена, а значения  $B$  и  $B_{\text{ВПП}}$  очень близки к яркостям, безусловно ослепляющим человека.

Б.М. Новиков [7] предложил метод расчета наклонной дальности видимости ВПП при малооблачной погоде в светлое время суток путем использования «световоздушного» уравнения при наклонном визировании. Согласно этим расчетам видимый яркостный контраст  $K'$  с учетом влияния яркости дымки в слое между наблюдателем, находящимся на некоторой высоте над ВПП (например, на глиссаде снижения), и самой поверхностью ВПП определяется уравнением

$$K' = \frac{K}{1 + (B/B) [m/(m + m_c)] [(e^{(m+m_c)\tau} - 1)]}, \quad (2)$$

где  $K$  – исходный (истинный) контраст;  $B$  – величина, зависящая от освещенности и вида индикатрисы рассеяния;  $B$  – истинная (не искаженная дымкой) яркость объекта;  $m$  – безразмерная масса в направлении визирования (отношение наклонного расстояния к вертикальному);  $m_c$  – безразмерная масса в направлении Солнца;  $\tau$  – оптическая мощность слоя атмосферы. Но в условиях оперативной работы осуществление таких расчетов весьма сложно. Не совсем понятен и подход к выбору оптической модели атмосферы, исключающий использование реальных данных наблюдений.

В соответствии с определением метеорологической дальности видимости международные организации (ИКАО, ВМО) рекомендуют во всех случаях принимать уровень минимально ощущаемого порогового раздражителя  $E = 0,05$  [8]. В свою очередь, в [9] отмечается, что такая величина  $E$  не является достоверной для всех условий наблюдений, так как фактическое значение пороговой чувствительности глаза наблюдателя в момент проведения визуальных наблюдений неизвестно.

Для определения наклонной видимости  $S$  (сверху вниз) в [10] рекомендуется соотношение

$$S = \frac{1}{\mu(S)} \left[ \ln \left( \frac{K}{E} - 1 \right) + \ln \frac{L_\phi}{L_d(S)} \right], \quad (3)$$

где  $L_d(S)$  – яркость слоя дымки толщиной  $S$ ;  $\mu(S)$  – показатель ослабления;  $L_\phi$  – яркость фона;  $K$  – яркостный контраст;  $E$  – пороговый контраст.

Однако с точки зрения обеспечения необходимых оперативных измерений и эта формула оказывается неприемлемой, так как она базируется на модельных зависимостях, проверка которых в условиях реальной атмосферы затруднена или практически невозможна.

Таким образом, использовать существующие в настоящее время методики для расчета наклонной дальности видимости в ПМУ при безоблачном небе для случая возможного ослепления экипажа не представляется возможным. Вместе с тем для обеспечения безопасной посадки при нахождении Солнца вблизи посадочного курса необходимо исключить его ослепляющее воздействие на экипаж ВС. Для этого необходимо знать промежуток времени (его начало и конец), когда при данном курсе посадки низкорасположенное Солнце создает условия для ослепления экипажа ВС.

В целях решения задачи по расчету времени начала и конца рассматриваемого явления должны быть определены высоты Солнца над горизонтом, при которых наблюдается эффект ослепления экипажей. Так как основной максимум яркости, обусловленный сильно вытянутой индикатрисой аэрозольного рассеяния, всегда наблюдается около Солнца в виде ореола, имеющего угловой радиус  $10$ – $12^\circ$ , то в секторе  $20$ – $24^\circ$  создается источник повышенной яркости. Для исключения явления ослепления необходимо, чтобы

данный сектор не перекрывал полностью или частично сектор обзора экипажа ВС при посадке, определяемый конструктивными особенностями конкретного типа летательного аппарата (рис. 2).

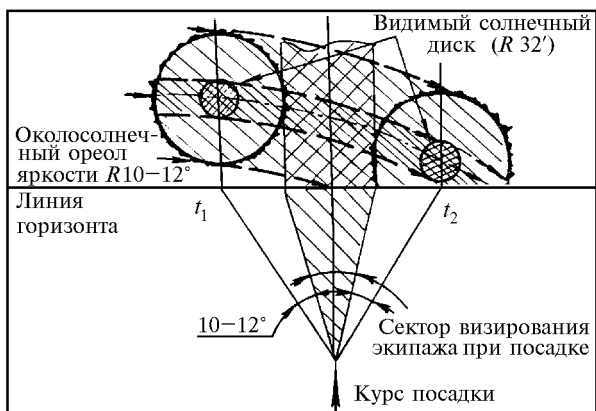


Рис. 2. Общий случай повышенной яркости небосклона, создаваемой диском Солнца и околосолнечным ореолом, в секторе визирования экипажа ВС, совершающего посадку

Из астрономии известно, что Солнце в течение года от сезона к сезону меняет азимуты захода и восхода. Поскольку время и азимут захода взаимосвязаны, то сектор обзора экипажа ВС при посадке может перекрываться полностью или частично низкорасположенным Солнцем. При этом Солнце имеет угловую высоту от 10–12° до 50' над горизонтом. На основании такого положения по конкретным датам календарного года появляется возможность рассчитать сроки начала и конца явления ослепления на любом аэродроме применительно к определенным типам базирующихся самолетов.

Для расчета опасных временных интервалов составлена специализированная программа, легко адаптируемая к условиям любого аэродрома и к различным типам летательных аппаратов (рис. 3).

Временные интервалы сведены в таблицу специальной формы, по которой в зависимости от сезона определяются сроки начала и окончания возможного явления ослепления для конкретных дат и заданных курсов посадки (табл. 2).

За основу взята программа SUN-SET, предложенная О. Монтенбруком и Т. Пфлегер в [11] для расчета моментов восхода и захода Солнца, а также времени начала и конца навигационных сумерек в течение 10 сут. Программа дополнена блоком расчета моментов начала и конца возможного ослепления экипажа ВС, совершающего посадку в ПМУ при безоблачном небе.

Исходными данными служат географическая широта  $\phi$  и долгота  $\lambda$  контрольной точки аэродрома (КТА) с точностью до 1 мин, разность поясного и всемирного времени ( $dt$ ) в часах, направление ВПП – курсы взлета и посадки  $A_1$  и  $A_2$  с точностью до 1 мин. Предложенная программа позволила рассчитать вре-

мя начала и конца возможного ослепления экипажа во время посадки для каждой календарной даты. Полученные моменты начала и конца возможного ослепления выводятся на печать в виде специальной таблицы (см. табл. 2).

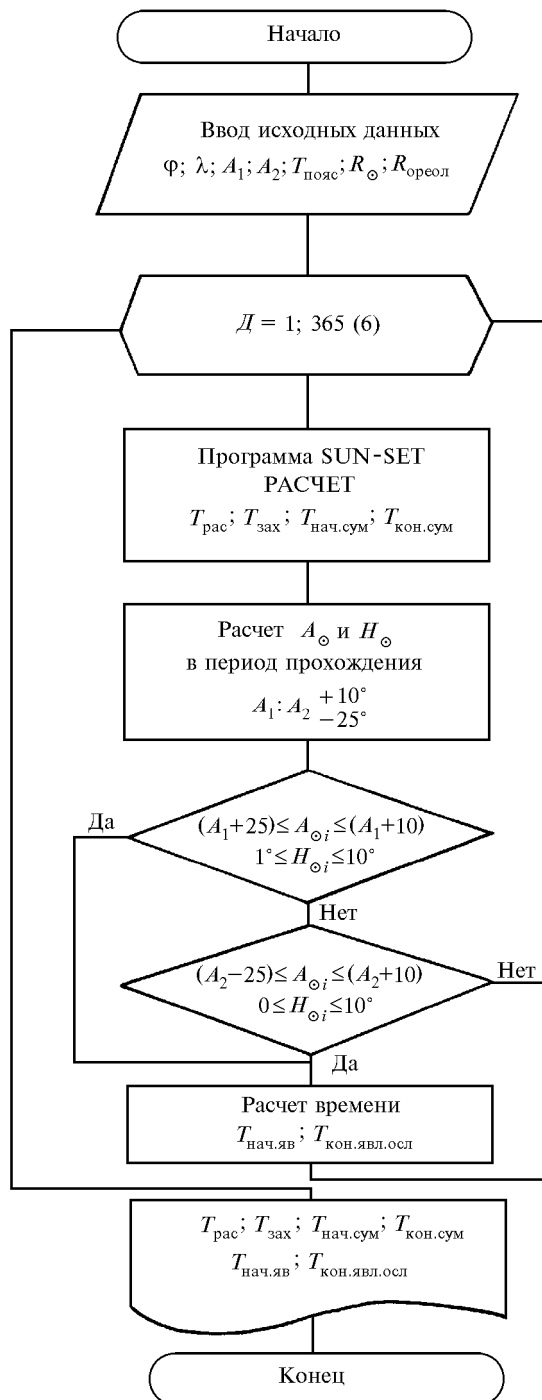


Рис. 3. Блок-схема программы расчета периодов возможного ослепления экипажа

Анализ данных таблицы позволяет заметить, что для рассматриваемого аэродрома период максимальной продолжительности ослепления дос-

тигает 2 ч и наблюдается 13 февраля и 29 октября во второй половине дня, а с 18 августа по 6 октября и с 7 марта по 25 апреля явление отсутствует вовсе (т.е. для обоих курсов посадки).

Целесообразно использовать следующую схему обеспечения безопасности полетов при возникновении угрозы ослепления экипажей на посадочном курсе:

1. При ожидающихся ПМУ и безоблачном небе обратиться к специальной таблице временных интервалов условий ослепления экипажей.

2. В случае выявления возможности попадания экипажа в экстремальную ситуацию, обусловливаемую повышенной яркостью фона, необходимо исключить посадку ВС в опасном направлении.

Дальнейшие действия дежурного синоптика связаны с конкретной ситуацией, но в любом случае необходимо доложить руководителю полетов об ожидаемом явлении ослепления экипажей, совершающих посадку, и принять все меры к предотвращению попадания экипажа в экстремальную ситуацию.

Т а б л и ц а 2

Таблица времени наступления темноты, рассвета, захода и восхода Солнца, совмещенная с периодами, благоприятствующими ослеплению Солнцем экипажа ВС при заходе на посадку в ПМУ при безоблачном небе для аэродрома Сиверский (координаты КТА 59° 21' с.ш., 30° 02' в.д., поясное время 02.00, направление ВПП А1-А2)

Дата	Восход Солнца	Заход Солнца	Наступление темноты	Рассвет	Явление ослепления			
					Курс А1		Курс А2	
					Начало	Конец	Начало	Конец
1	2	3	4	5	6	7	8	9
				Январь				
01.01.98	09.56	16.11	17.05	09.02	явление отсутствует		15.14	16.10
02.01.98	09.56	16.12	17.07	09.01	« «		15.15	16.11
...	...	...	...	...	...	...	...	...
31.01.98	09.13	17.15	18.01	08.26	явление отсутствует		15.22	17.14
				Февраль				
01.02.98	09.10	17.17	18.03	08.24	явление отсутствует		15.24	17.16
...	...	...	...	...	...	...	...	...
13.02.98	08.12	18.16	18.57	07.30	явление отсутствует		15.32	17.32
14.02.98	08.09	18.18	19.00	07.27	« «		15.34	17.30
				Март				
07.03.98	07.33	19.19	20.03	06.49	явление отсутствует		16.41	16.42
08.03.98	07.31	19.20	20.05	06.48	« «		явление отсутствует	
				Апрель				
26.04.98	06.08	21.46	22.30	05.26	06. 90	06.10	явление отсутствует	
				Июнь				
22.06.98	04.13	23.45	00.59	03.02	04.14	06.07	явление отсутствует	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
18.08.98	06.22	22.05	22.31	05.35	06.24	06.26	явление отсутствует	
				Октябрь				
01.10.98	07.05	18.33	19.14	06.24	явление отсутствует		явление отсутствует	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
06.10.98	07.16	18.18	18.59	06.35	явление отсутствует		явление отсутствует	
07.10.98	07.19	18.15	18.56	06.38	« «		16.45	16.46
29.10.98	07.58	17.33	17.59	07.40	« «		15.41	17.27

Использование предоставленного алгоритма позволяет существенно повысить безопасность полетов и, как следствие, обеспечить решение целого ряда практических задач с помощью авиации. Так, например, учет особенностей изменения качества видимости позволит полнее использовать современные возможности организации мониторинга удаленных нефтегазоносных районов с помощью средств объективного контроля, оптимизировать планирование и повысить безопасность выполнения полетов ВС с аэродромов и посадочных площадок.

1. Гаврилов В.А. Прозрачность атмосферы и видимость. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 167 с.  
2. Белгородский С.Л. // Метеорология и гидрология. 1979. № 5. С. 57–61.

3. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 751 с.  
4. Рацимор М.Я. Наклонная видимость. Методическое пособие для специалистов ГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ и АМСГ. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 136 с.  
5. Шаронов В.В. Измерение и расчет видимости далеких предметов. М.: Гостехиздат, 1947. 455 с.  
6. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 323 с.  
7. Новиков Б.М. // Труды Всесоюзной конференции по вопросам метеорологического обеспечения сверхзвуковой авиации. Л.: Гидрометеоздат, 1971. С. 280–283.  
8. Руководство по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передачи сообщений о ней. Изд. ИКАО, 1981. Док. 9328AN/908. 79 с.  
9. Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полетов. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 206 с.  
10. Ковалев В.А. Видимость в атмосфере и ее определение. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 334 с.  
11. Монтенбрук О., Пфлегер Т. Астрономия с персональным компьютером. М.: Мир, 1993. 170 с.

*V.S. Komarov, V.I. Akselevich, G.V. Zabolotnikov.* **Nature and Peculiarities of Atmospheric Optical Characteristics Influence on Use of Aviation in Northern Regions of Siberia.**

The problem of an aircraft crew dazzling when its landing under standard meteorological conditions (SMC) and cloudless sky is attributed to optical properties of the atmosphere and sensibility of human eye. The present day theories of slant vision range are briefly reviewed. A specialized program is proposed which can be used to avoid dazzling of on aircraft crew when landing under SMC. The atmospheric optical characteristics are recommended to be taken into account to ensure a safety of the aircrafts flies.