

УДК 656.71.628.984

А.А. Карповский

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИЙ ОТКАЗА ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП И ПОДСИСТЕМ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АЭРОДРОМОВ

Изложена методика расчета вероятности обнаружения светосигнальных средств аэродрома экипажем воздушного судна при посадке в сложных метеорологических условиях. Намечены пути решения задачи минимизации количества сигнальных огней светосигнального комплекса аэродрома.

Вероятность обнаружения световых сигналов, имеющих малую интенсивность, наблюдаемых на пороге различения человеческим глазом, как видно из работы [1],

$$P = 1 - e^{-\frac{t_{\text{пои}}}{t_{\text{ср}}}} \quad (1)$$

Если время поиска световых сигналов $t_{\text{пои}}$ наблюдателем не ограничено и много больше $t_{\text{ср}}$, наблюдатель всегда обнаружит световой сигнал, который создает освещенность E на глазу наблюдателя больше некоторой минимальной величины, получившей название пороговой освещенности $E_{\text{пор}}$. Подставив в формулу (1) условия проведения поиска световых сигналов наблюдателем, Н.П. Травникова [2], [3] получила формулу, увязывающую между собой условия наблюдения световых сигналов, их блеск $E_{\text{пор}}$, поле поиска (2β) и уровень подготовки наблюдателей световых сигналов малой интенсивности A , наблюдаемых на пороге видимости яркости фона, на котором присутствует сигнал B^{2n} :

$$t_{\text{ср}} = \frac{(2\beta)^2 B^{2n}}{AE^2} \quad (2)$$

При наблюдении световых сигналов экипажами воздушных судов (ВС) в сложных метеорологических условиях (СМУ) освещенность на глазу пилота будет определяться формулой Аллара [4], которая увязывает между собой дистанцию их наблюдения L , интенсивность световых сигналов I и метеорологические условия их наблюдения τ :

$$E_n = \frac{I}{L^2} \tau = \frac{I}{L^2} \tau_1^{-L} = \frac{I}{L^2} e^{-\alpha L} \quad (3)$$

В формулу (2) входят не указанные ранее величины: τ – удельная прозрачность атмосферы; e – основание натурального логарифма; α – натуральный показатель ослабления световых сигналов атмосферой $\alpha = -\ln \tau_1$.

В авиации световые сигналы рассчитываются для наихудших условий их наблюдения [4]. Такие условия бывают, когда наблюдается наибольшая яркость фона, при которой приходится рассматривать световые сигналы. Наибольшая яркость фона B бывает днем в тумане, подсвеченном солнцем, и ночью в тумане,

подсвеченном прожекторными огнями приближения к взлетно-посадочной полосе [5]. Световой сигнал будет виден, если он создает освещенность на глазу наблюдателя больше или равную пороговой:

$$E_{\text{пор}} = 1,6 \cdot 10^{-7} B^n. \quad (4)$$

При наихудших условиях наблюдения яркость фона $B = 30$ кд/м² и более, показатель степени при этом достигает своего наибольшего значения: $n = 0,75$. Если сравнить между собой уравнения (3) и (4), предположив, что освещенность на глазу пилота равна или больше пороговой, и решить полученное соотношение относительно L , то можно определить дистанцию, на которой экипаж должен различать в данных метеоусловиях световые сигналы силой света I . Движущийся по глиссаде заходящий на посадку самолет приближается к источнику света, и в некоторый момент времени t_2 источник света будет закрыт от наблюдателей конструкцией самолета. Разность между t_0 (моментом появления сигнала из тумана) и моментом его закрытия конструкцией самолета t_2 и есть время наблюдения светового сигнала. Для самолета, движущегося с посадочной скоростью 80–90 м/с, это время будет составлять всего 1–3 с при метеоусловиях, соответствующих третьей категории ИКАО. Если подставить в уравнение (1) значения из уравнений (2), (3) и (4), можно получить формулу вероятности обнаружения светового сигнала экипажем заходящего на посадку самолета

$$P = 1 - e^{-z}, \quad (5)$$

где

$$z = \frac{AI^2}{(2\beta)^2 B^{2n} L^4 e^{2\alpha L}}$$

Формула (5) увязывает между собой все основные параметры световых сигналов, условия их наблюдения и вероятность их обнаружения экипажем ВС. Входящий в формулу (5) показатель уровня подготовки наблюдателей A имеет размерность и численно равен $A = 2,6 \cdot 10^{14}$ град² (кд/м²)²ⁿ · лк⁻² с⁻¹ для бинокулярного зрения человека. Практическое значение его заключается в том, что его можно использовать для отбора экипажей и оценки их уровня подготовки и профессиональной пригодности для выполнения полетов в СМУ [2].

Если подставить значения основных параметров условий наблюдения, соответствующих заходу на посадку и наблюдению световых сигналов в условиях первой и второй категорий ИКАО, вероятность обнаружения световых сигналов будет равняться единице. Если подставить значения, соответствующие третьей категории ИКАО – С, то вероятность обнаружения светового сигнала будет близкой к единице. Если произвести расчет для значений метеорологической дальности видимости (МДВ) ниже минимума третьей категории ИКАО, в частности для огней с $I = 2 \cdot 10^4$ кд, и МДВ, равном 50 м, вероятность обнаружения огня $P = 0,03$. Вышесказанное подтверждает результаты, полученные в процессе эксплуатации светосигнальных систем аэродромов.

Успешная посадка ВС может быть произведена при условии обнаружения светосигнальных средств аэродрома экипажем ВС с вероятностью, близкой к единице. Для этого не достаточно обнаружить один огонь, а необходимо, чтобы экипаж мог наблюдать и обнаруживать с высокой степенью вероятности систему сигнальных огней. Посадка может быть успешной при условии, что экипаж ВС наблюдает закономерную картину светосигнальных средств на летном поле от момента их обнаружения и до посадки ВС. Этот процесс получил название процесса установления визуального контакта и принятия решения о посадке. Время установления визуального контакта экипажа ВС в условиях первой категории ИКАО составляет 16 с при посадочной скорости 220 км/ч, при второй категории ИКАО – лишь 6 с. В более сложных метеорологических условиях его трудно измерить или рассчитать, так как высота принятия решения минимальна [6].

Светосигнальные средства на летном поле установлены с определенными интервалами. Пять или десять огней, смонтированных в горизонт, можно рассматривать как один, остальные – в горизонте дублирующие на случай отказа части комплекта и компенсирующие отклонение ВС от оптимальной глиссады планирования. Поэтому вероятность обнаружения некоторого количества светосигнальных средств, необходимых для надежного ориентирования, можно рассчитать по формуле полной вероятности взаимно независимых событий [7]:

$$P = P_1 + P_1P_2 + P_1P_2P_3 + P_1P_2P_3P_4 + P_1P_2P_3P_4P_5. \quad (6)$$

Согласно работе [6], визуальный контакт можно считать надежно установленным, если пилот видит наземные ориентиры на протяжении не менее 150 м. Формула (6) полностью удовлетворяет указанному требованию. Обнаружение наблюдателем одного огня из системы сужает поле поиска остальных и облегчает их поиск. Формула (6) отражает вероятность обнаружения экипажем пяти групп огней, отстоящих друг от друга по движению ВС с интервалами в 30 м. Формулы для расчета $P_2 - P_5$ выглядят точно так же, как и для расчета P_1 (5), однако значения времени наблюдения $t_2 - t_5$ должны быть уменьшены на значение величины $\Delta t = \frac{\Delta L}{V}$, $t_i = t - \Delta t$, а значение угла поиска β_i должно быть уменьшено до минимально возможного значения угла наблюдения двух следующих друг за другом групп огней:

$$P_i = 1 - e^{-z_i},$$

где

$$z_i = \frac{At_i I^2}{(2\beta_i)^2 B^{2n} L^4 e^{2\alpha L}}. \quad (7)$$

Из формулы (7) можно сделать очень важный вывод: в случае размещения огней на минимальном расстоянии друг от друга по движению самолета, когда угол β_i стремится к нулю, вероятность обнаружения последующего огня стремится к единице. Вероятность обнаружения одного огня из системы будет равняться вероятности визуального контакта, что очень важно при сигнализации в СМУ.

Используя полученные формулы и теоретические выкладки можно с успехом решить следующие задачи:

- рассчитать вероятность установления визуального контакта экипажем ВС в СМУ, которые соответствуют или ниже категории аэродрома;
- рассчитать вероятность успешной посадки при нормальной работе и внезапном отказе определенных групп огней и моделировать на ЭВМ различные ситуации;
- определить минимальную интенсивность световых сигналов, необходимых для обеспечения посадки в различных метеоусловиях;
- определить СМУ, в которых можно использовать неполные и укороченные комплекты светосигнальных средств и минимальную комплектность светосигнальных средств.

Расчет будет правильным для рассчитанной дистанции L (по методике, указанной выше) или для заданной дистанции L_3 обнаружения огней. При этом необходимо соблюдать условие $L_3 \leq L$, если $L_3 \ll L$, расчет будет выполнен с большим запасом.

Предложенные методики позволят оптимизировать количественные и качественные показатели светосигнальных средств стационарных аэродромов, рассчитать минимальные количественные и качественные показатели светосигнальных средств для временных и полевых аэродромов и таким образом сэкономить время, трудовые и финансовые ресурсы.

Список литературы

1. Луизов А.В. Глаз и свет. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 140 с.
2. Травникова Н.П. Визуальное обнаружение точечного источника света// Светотехника. – 1978. – № 2. – С.10–13.
3. Травникова Н.П. Вероятность обнаружения точечного источника света// Оптикомеханическая промышленность. – 1972. – № 8. – С. 20–22.
4. Электрическое и световое оборудование аэропортов / В.А. Алекторов, К.И. Волков, Е.С. Гольденберг и др. – М.: Редиздат Аэрофлота, 1966. – С. 72–88.
5. Карева Т.И., Лящук С.М. Определение яркости адаптации пилота при посадке самолета ночью в тумане//Светотехник. – 1986. – № 7. – С. 6–11.
6. Лящук С.М. Светосигнальное оборудование//Гражданская авиация. –1980. – № 12. – С. 26–27.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятности. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.

Стаття надійшла до редакції 3 листопада 1999 року.