

УДК 621.314

А.И. Кремешный, А.А. Корочкин, А.Д. Бердочник

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ НА ОСВЕЩЕНИЕ НАЗЕМНЫХ (МОРСКИХ) ОБЪЕКТОВ

В статье приводятся основные условия необходимые для обнаружения объектов с помощью визирных устройств при искусственном их освещении. Излагаются основы расчета потребной силы источника света для освещения объекта при заданных условиях, с помощью которых можно быстро и с достаточной для практики точностью решить задачу освещения объекта, используя светящиеся авиационные бомбы или осветительные ракеты.

Ключевые слова: контраст объекта, пороговый контраст, яркость объекта и фона, потребная освещенность, сила света.

Введение

Постановка проблемы. Вопросы искусственного освещения (обозначения) цели (объекта) в интересах боевого применения авиационных средств поражения (АСП) является одной из важных задач при нанесении по ней удара ночью.

Нанесение ударов авиации ночью обладает рядом тактических преимуществ: внезапность, непрерывное воздействие на противника, лучшие условия преодоления противодействия средств противовоздушной обороны (ПВО) противника.

Организация освещения объекта предполагает решение двух частных задач: выполнение расчетов на освещение и определение порядка освещения.

Целью статьи является изложение теоретических основ расчетов на освещение наземных (морских) объектов, с помощью которых можно быстро и с достаточной для практики точностью решить задачу освещения объекта, используя светящиеся авиационные бомбы (САБ) или осветительные ракеты.

Основная часть

Различные объекты на окружающем фоне воспринимаются благодаря своим угловым размерам γ (угол под которым наблюдатель видит данный объект) и контрасту яркостей на окружающем фоне K_0 .

Для визуальной идентификации объектов необходимо соблюдение следующих условий: контраст объекта по отношению к окружающему фону должен быть больше порогового значения; угловой размер объекта должен быть больше разрешающей способности глаза (оптической визирной системы); освещенность объекта должна быть не меньше потребной.

Количественно величину контраста оценивают, как отношение разности в яркости объекта и фона к большей яркости [1]

$$K_0 = \frac{L_6 - L_M}{L_6}, \quad (1)$$

где L_6 , L_M – большее и меньшее значения яркостей объекта и фона.

Нормальная видимость объекта обеспечивается лишь при достижении величины порогового контраста K_n , рассчитывается по следующей формуле

$$K_n = \frac{\Delta L_n}{L_\phi}, \quad (2)$$

где ΔL_n – пороговая разность яркости, т.е. минимальная разность яркости объекта и фона, впервые обнаруживаемая глазом; L_ϕ – яркость фона.

Величина порогового контраста зависит от яркости фона L_ϕ и угловых размеров объекта, рис. 1.

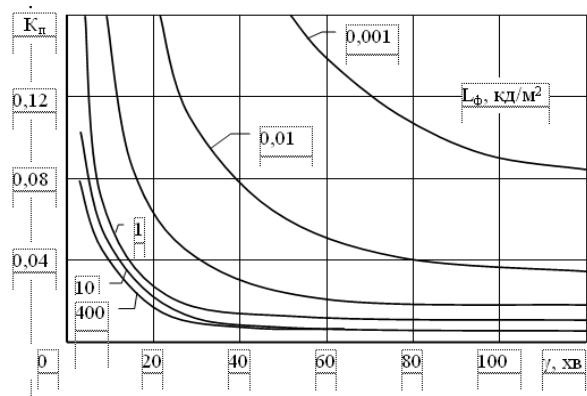


Рис. 1. Зависимость порога контрастной чувствительности глаза от угловых размеров объекта при разных яркостях фона

Из рис. 1 видно, что объекты с большими угловыми размерами видны при меньших контрастах, а с увеличением яркости уменьшается значение порогового контраста.

Размеры объекта и их местоположение определяют пространственные характеристики глаза или визирного устройства. В качестве основной из этих характеристик выступает разрешающая способность глаза или оптического визирного устройства. Разрешающая способность глаза при нормальном зрении оценивается одной угловой минутой в наземных условиях и десятью угловыми минутами в условиях полета [2].

Большое влияние на условия видимости объектов оказывает яркость освещения поверхности объекта L .

Яркость освещенной поверхности зависит от уровня освещенности E и отражающих свойств поверхности, ее значение определяется соотношением [1].

$$L = E_p / \pi, \quad (3)$$

где ρ – коэффициент отражения поверхности; π – число равное 3,14.

Коэффициент отражения зависит от вида поверхности и показывает, какая часть падающего на поверхность светового потока отражается ею. Значения коэффициентов для некоторых видов поверхностей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Среднее значение коэффициента отражения

Виды поверхности	Состояние поверхности	
	сухая	мокрая
Песок	0,31	0,18
Суглинок	0,15	0,08
Чернозем	0,07	0,05
Бетон	0,17	0,10
Асфальт	0,10	0,07
Трава	0,14	0,09
Снег	0,78	–

Минимальное значение потребной освещенности объекта (пороговая освещенность) E_{π} определяется пороговой разностью яркости и фона $\Delta L_{\pi} = L_o - L_{\phi}$, коэффициентом отражения фона и контрастом объекта на окружающем фоне:

$$E_{\pi} = \frac{\pi \Delta L_{\pi}}{\rho K_o} = \frac{E_{\pi o}}{K_o}, \quad (4)$$

где $E_{\pi o}$ – пороговая освещенность объекта в условиях абсолютно прозрачной атмосферы, видимый угловой размер которого более 30', равна 0,2 лк.

Для объектов с меньшими угловыми размерами (от 30' до 10') пороговая освещенность возрастает. Ее значение можно определить по приближенной формуле:

$$E_{\pi o} = 39 \gamma^{-1,54}, \quad (5)$$

где γ – угловой размер объекта в минутах с учетом кратности визира ($\Gamma_{\text{опт}}$), определяемый по формуле:

$$\gamma = 3,44 \frac{\ell_{\text{ц}}}{D_{\text{ц}}} \Gamma_{\text{опт}}, \quad (6)$$

где $\ell_{\text{ц}}$ – величина видимого линейного размера объекта, берется в метрах; $D_{\text{ц}}$ – дальность до объекта, берется в километрах.

Значения некоторых средних коэффициентов контраста для типовых объектов и некоторых характерных ориентиров приведены в табл. 2.

Потребная освещенность цели с учетом ослабления светового потока оптической прицельной системы и потери лучистой энергии на участке от цели до летательного аппарата (ЛА) за счет неполной прозрачности атмосферы определяется по формуле:

$$E_{\pi} = \frac{E_{\pi o}}{K_o} K_{\text{опт}} e^{\frac{3,91}{S_M}}, \quad (7)$$

Таблица 2

Средние значения коэффициентов контраста

№ п.п.	Объекты освещения	K_o
1.	Взлетно-осадочные полосы (ВПП) бетонированные:	
1.1	весной на фоне прошлогодней травы	0,20
1.2	в начале лета на фоне ярко-зеленой травы	0,55
1.3	зимой, ранней весной на фоне снега (ВПП запорошено снегом)	0,15
1.4	зимой на фоне снега	0,77
2.	ВПП грунтовые летом	0,32
3.	Летательные аппараты на ВПП (рулевых дорожках (РД))	
3.1	на песчаном фоне	0,75
3.2	на травяном фоне	0,46
3.3	на снежном фоне	0,25
4.	Склады горюче-смазочных материалов (ГСМ) с наземными металлическими резервуарами на фоне грунта	0,65
5.	Железобетонные сооружения на фоне травы	0,30
6.	Здания из красного кирпича на фоне травы	0,20
7.	Здания из серого кирпича на фоне травы	0,35
8.	Антенны радиолокационных станций (РЛС) на фоне неба	0,50
9.	Военная техника (с темно-зеленым покрытием)	
9.1	на асфальтовой дороге	0,37
9.2	на грунтовой дороге	0,25
9.3	на зеленой траве	0,14
9.4	на свету	0,80
10.	Мост железнодорожный	
10.1	на фоне воды	0,60
10.2	на фоне снега	0,90
11.	Мост автодорожный	
11.1	на фоне воды	0,50
11.2	на фоне снега	0,80
12.	Переправа понтонная на фоне воды	0,30
13.	Река на фоне леса	0,25
14.	Автострада бетонная на фоне травы	0,60
15.	Железнодорожные узлы и станции	
15.1	на фоне травы	0,60
15.2	на пестром фоне	0,15
15.3	на фоне света	0,80
16.	Железнодорожные эшелоны на перегонах	0,16
17.	Корабль на фоне воды	0,35
18.	Кильватерный след корабля на фоне воды	0,80
19.	Береговая черта	0,90
20.	Остров лесистый на фоне воды	0,20

где $K_{\text{опт}}$ – коэффициент, учитывающий ослабление светового потока оптикой визирного устройства и составляет: - 2,4...2,6 для телескопических систем без визирных призм; - 4,9...5,1 для телескопических систем с визирными призмами; - 1,0 для коллиматорной оптики; S_M – метеорологическая дальность видимости; $D_{\text{ц}}^n$ – потребная дальность обнаружения цели.

Потребная дальность обнаружения цели зависит от способа атаки цели и типа применяемых АСП. Так, при бомбометании с горизонтального

полета и пологого пикирования (рис. 2) она определяется по формуле:

$$D_{ц}^n = \sqrt{H^2 + (A_o + V_c t_{пр})^2}, \quad (8)$$

где H – высота бомбометания (высота полета ЛА в начале боевого пути), м; A_o – штилевой относ бомбы, м; V_c – воздушная скорость при бомбометании, м/с; $t_{пр}$ – время прицеливания.

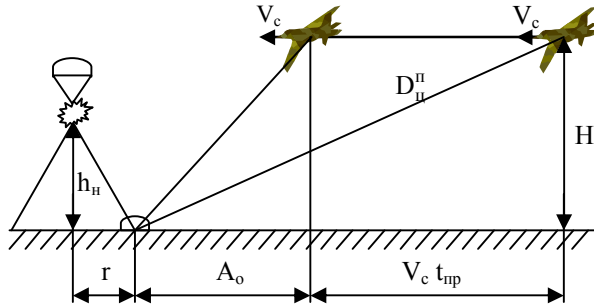


Рис. 2. Потребная дальность обнаружения цели

При бомбометании по малоразмерным целям, потребная дальность обнаружения определяется как минимально допустимая дальность до цели в момент ее обнаружения.

$$D_{ц}^n = \sqrt{A^2 + 2Rz^* \sigma_z + V_c t_{пр}}, \quad (9)$$

где A – относ (ветром) бомбы, м; R – радиус разворота ЛА; z^* – параметр гарантийности; σ_z – среднее квадратичное отклонение уклонения ЛА от линии заданного пути.

Величина параметра z^* зависит от доверительной вероятности P_d и определяется по таблице функций Лапласа или по формуле:

$$z^* = \sqrt{\pi \left\{ \frac{1}{41} \left[-\ln(1 - P_d^4) \right]^2 - \ln \sqrt{1 - P_d^2} \right\}}. \quad (10)$$

Освещенность объекта E , создаваемая светящейся авиационной бомбой (осветительной ракетой) зависит от силы ее света, прозрачности атмосферы,

удаления и ориентации его относительно источника света и определяется по формуле:

$$E = \frac{J}{D^2} f(\beta) e^{-\frac{3,91 D}{S_M}}, \quad (11)$$

где J – сила источника света; D – расстояние между источником света и освещенным объектом; $f(\beta)$ – функция направления, характеризующая положение освещенной поверхности относительно источника света; β – угол падения светового потока.

Функция направления $f(\beta)$ зависит от положения источника света, освещающего выбранную поверхность и формы этой поверхности. Она определяется отношением площади проекции участка освещаемой поверхности на плотность, перпендикулярную к направлению светового потока, к площади этого участка. Если освещаемая поверхность представляет собой горизонтальную поверхность (рис. 3), то $f(\beta) = \cos \beta$, а для вертикальной поверхности $f(\beta) = \sin \beta$. Элементарные участки поверхности реальных объектов могут быть ориентированы, относительно светового потока, самым различным образом. Поэтому освещаемую поверхность представляют в виде полусферы обращенной в верх. Функция направления такой полусферы (рис. 3) равна:

$$f(\beta) = \frac{\pi R^2}{4\pi R^2} (1 + \cos \beta) = 0,25(1 + \cos \beta). \quad (12)$$

Учитывая значение функции направления, освещенность можно представить в виде:

$$E = \frac{0,25J}{D^2} (1 + \cos \beta) e^{-\frac{3,91 D}{S_M \cos \beta}}. \quad (13)$$

Необходимая сила света J_n для создания потребной освещенности E_n на границах круга радиусом r_n при высоте горения факелов САБ h определяется по формуле:

$$J_n = \frac{4E_n h^2}{\cos^2 \beta (1 + \cos \beta)} e^{-\frac{3,91 h}{S_M \cos \beta}}. \quad (14)$$

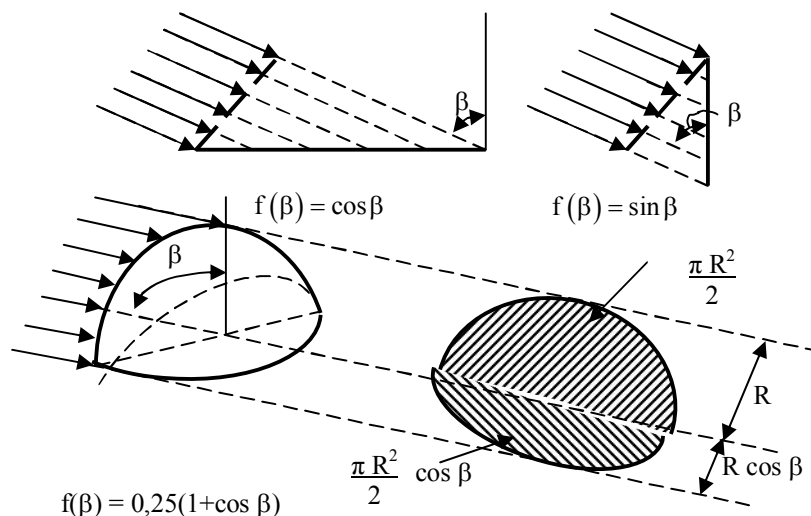


Рис. 3. К определению функции направления

Существует оптимальная высота горения САБ h_0 , а следовательно, и угла β_0 (рис. 4), при которых освещенность объекта, расположенного на границе освещаемой площади, будет максимальной.

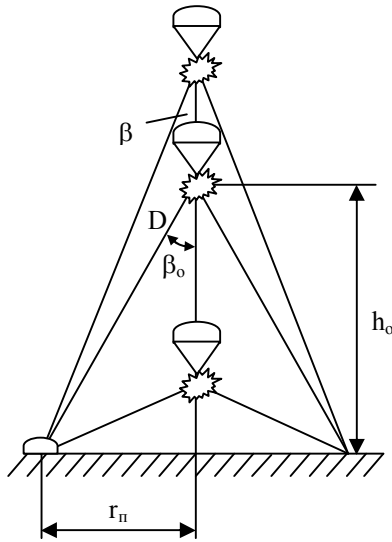


Рис. 4. Оптимальна висота горіння САБ

Для оптимального значения этого угла необходимо найти максимум функции $E = f(\beta)$, взяв частную производную по β и приравняв ее к нулю.

Для удобства дифференцирования в формуле (13) расстояние от объекта до САБ выражаются через радиус освещенности, т.е. $D = r \cos \beta$, и выполняется логарифмирование формулы:

$$\ln E = \ln \frac{J}{4r^2} + 2 \ln \sin \beta + \ln(1 + \cos \beta) - \frac{3,91}{S_M} r \cos \beta \quad (15)$$

$$\frac{d(\ln E)}{d\beta} = 2 \frac{\cos \beta}{\sin \beta} - \frac{\sin \beta}{1 + \cos \beta} + \frac{3,91}{S_M} r \frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta} = 0 \quad (16)$$

После преобразований и решения уравнения (16) относительно β с достаточной для практики точностью наивыгоднейший угол освещения объекта β_0 , можно вычислить по приближенной формуле:

$$\beta_0 = \arccos \frac{-\left(1 + \frac{3,91 r}{S_M}\right) + \sqrt{\left(1 + \frac{3,91 r}{S_M}\right)^2 + (3)}}{3 + \frac{3,91 r}{S_M}}, \quad (17)$$

где r – радиус освещенности площади; S_M – метеорологическая дальность видимости в районе цели.

Оптимальному углу освещенности соответствует наивыгоднейшая высота освещения:

$$h_0 = r \operatorname{ctg} \beta_0. \quad (18)$$

Вывод

Предложен оптимальный метод расчетов потребной силы источника света для освещения объекта при заданных условиях (радиуса освещаемой площади, метеорологической дальности видимости объекта, потребной дальности обнаружения объекта). Зная потребную силу источника света можно решить следующие задачи: определить потребный наряд сил и средств на освещение; определить положение точки начала горения источника света (светящиеся авиационные бомбы, осветительные ракеты).

Список литературы

1. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска / Н.П. Травникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
2. Орлов В.А. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости / В.А. Орлов, В.И. Петров. – М.: Воениздат, 1989. – 256 с.

Поступила в редколлегию 29.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ НА ОСВІТЛЕННЯ НАЗЕМНИХ (МОРСЬКИХ) ОБ'ЄКТІВ

О.І. Кремешний, О.А. Корочкін, А.Д. Бердочник

У статті приводяться основні умови необхідні для виявлення об'єктів за допомогою візирних пристроїв при штучному їх освітленні. Висловлюються основи розрахунку потрібної сили виділення світла для освітлення об'єкту за заданими умовами, за допомогою яких можна швидко і з достатньою для практики точністю вирішити задачу освітлення об'єкту, використовуючи освітлюючі авіаційні бомби або освітлювальні ракети

Ключові слова: контраст об'єкту, пороговий контраст, яскравість об'єкту і фону, потрібна освітленість, сила світла.

THEORETICAL BASES OF CALCULATIONS ARE ON ILLUMINATION OF SURFACE (MARINE) OBJECTS

A.I. Kremeshnyi, A.A. Korochkin, A.D. Berdochnik

In the article basic terms are presented necessary for the exposure of objects by sight devices at their lamplight. Bases of calculation of necessary force of selection of light speak out for illumination of object on the set terms, by which it is possible quickly and with sufficient for practice exactness to decide the task of lighting an object, using lighting aviation bombs or light rockets

Keywords: contrast of object, threshold contrast, brightness of object and background, luminosity, candle-power, is needed.