

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ТОЧЕЧНОЙ ЦЕЛИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ МИН С УЧЕТОМ СВОЙСТВ АТМОСФЕРЫ

Сульдин В. А., Глазков М. А., Дельцов А. С., Трушин А. А.

*Аннотация:* представлены результаты решения одномерной задачи об определении освещенности точечной цели при движении осветительного элемента осветительных парашютных мин с учетом свойств атмосферы (ее прозрачности).

*Ключевые слова:* осветительные мины, освещенность, погрешности освещенности.

Наибольшее распространение среди осветительных мин в настоящее время получили парашютные осветительные мины с выбрасыванием осветительного факела с парашютом через хвостовую часть в направлении, противоположном направлению полета мины [4].

Цель настоящей статьи – разработка приближенной методики по оценке эффективности действия парашютных осветительных мин в условиях их реального применения при освещении точечной цели в неидеальных погодных условиях.

Основные ТТХ осветительных мин, влияющие на их эффективность, являются:

- средняя сила света факела  $I_{\text{ср}}$ , св;
- среднее время горения факела  $t_{\text{гор}}$ , с;
- средняя скорость снижения факела  $v_{\text{сниж}}$ , м/с;
- высота начала горения факела  $H_{\text{нач}}$ , м;
- высота конца горения факела  $H_{\text{конеч}}$ , м.

Согласно [3], после раскрытия парашюта, осветительный элемент снижается со скоростью порядка 8,5–10 м/с и освещает местность.

В первом приближении можно считать, что осветительный элемент снижается с одинаковой скоростью, равной средней скорости снижения осветительного элемента  $v_{\text{сниж}}$ , вычисляемой по формуле

$$v_{\text{сниж}} = \frac{H_{\text{нач}} - H_{\text{конеч}}}{t_{\text{гор}}}. \quad (1)$$

В таблице 1, согласно данным из [2], приведены основные ТТХ осветительных мин, применявшихся во время Великой Отечественной войны.

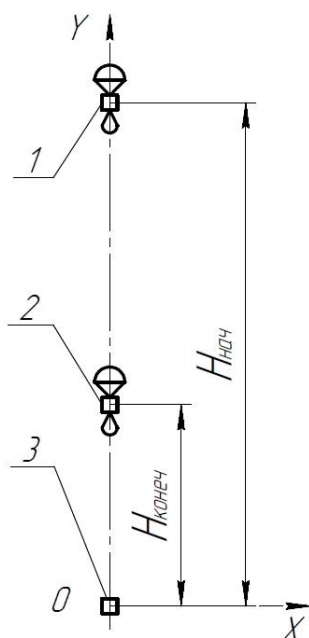
Таблица 1

**Основные ТТХ осветительных снарядов  
и мин периода Великой Отечественной войны**

Тип снаряда	Средняя сила света факела $I_{\text{ср}}$ , тыс. св	Среднее время горения факела $t_{\text{гор}}$ , с	Высота начала горения факела $H_{\text{нач}}$ , м	Высота конца горения факела $H_{\text{конеч}}$ , м	Средняя скорость снижения факела $v_{\text{сниж}}$ , м/с
82-мм осветительная мина	242	38,6	232	74	4,1
107-мм осветительная мина	325	43,5	281	73	4,8

Рассмотрим одномерную задачу об определении освещенности точечной цели при движении осветительного элемента осветительных парашютных мин с учетом свойств атмосферы (ее прозрачности).

Расчетная схема задачи представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Расчетная схема одномерной задачи об определении освещенности точечной цели при движении осветительного элемента:**

- 1 – положение осветительного элемента в момент начала горения факела;  
2 – положение осветительного элемента в момент окончания горения факела;  
3 – точечная цель;  $H_{\text{нач}}$  – высота начала горения факела;  
 $H_{\text{конеч}}$  – высота конца горения факела**

Примем ряд допущений при ее решении:

- задача одномерная ( $X = 0$ );
- задачу решим в предположении, что сила света факела в направлении оси уменьшается по сравнению с силой света под углом  $90^\circ$  к оси пламени [4] и равна:

$$I = k \cdot I_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы пламени факела осветительного элемента,  $I_{\text{ср}}$  – сила света, измеренная перпендикулярно оси факела осветительного элемента.

$$k = \frac{I_{\text{по оси}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где  $I_{\text{по оси}}$  – сила света, измеренная по оси факела осветительного элемента.

Коэффициент  $k$  и значение  $I_{\text{по оси}}$  определяются экспериментально.

Для задачи примем  $k = 0,5$ ;

- точечная цель описывается материальной точкой;
- атмосфера пропускает световые лучи неидеально (прозрачность атмосферы характеризуется коэффициентом прозрачности слоя атмосферы  $a$ );
- ветер отсутствует;
- осветительный элемент начинает гореть на высоте  $H_{\text{нач}}$ ;
- осветительный элемент прекращает гореть на высоте  $H_{\text{конеч}}$ ;
- осветительный элемент опускается с постоянной скоростью  $v_{\text{сниж}}$ ;
- точечная цель находится в начале координат на одной оси с осветительным элементом.

В [4] приведена зависимость для определения освещенности поверхности при падении лучей по нормали, учитывая поглощение света атмосферой:

$$E_{\text{п}} = \frac{I}{R^2} \cdot a^{\frac{R}{1000}}, \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент прозрачности слоя атмосферы толщиной в 1 км;  $I$  – сила света источника, св;  $R$  – расстояние от источника до освещаемой поверхности.

В настоящей задаче расстояние от источника до освещаемой поверхности  $r$  равно значению ординаты  $y$ . В свою очередь, ордината  $y$  изменяется в зависимости от времени по следующей формуле:

$$y(t) = H_{\text{нач}} - v_{\text{сниж}} \cdot t. \quad (5)$$

Тогда окончательно формула зависимости освещенности точечной цели от времени  $E_{\text{ц}}(t)$  примет вид

$$E_{\text{ц}}(t) = \frac{I}{y(t)^2} \cdot a^{\frac{y(t)}{1000}}, \quad (6)$$

Графики зависимостей  $E_{\text{ц}}(t)$  для осветительных мин из табл. 1 приведены на рис. 2, 3.

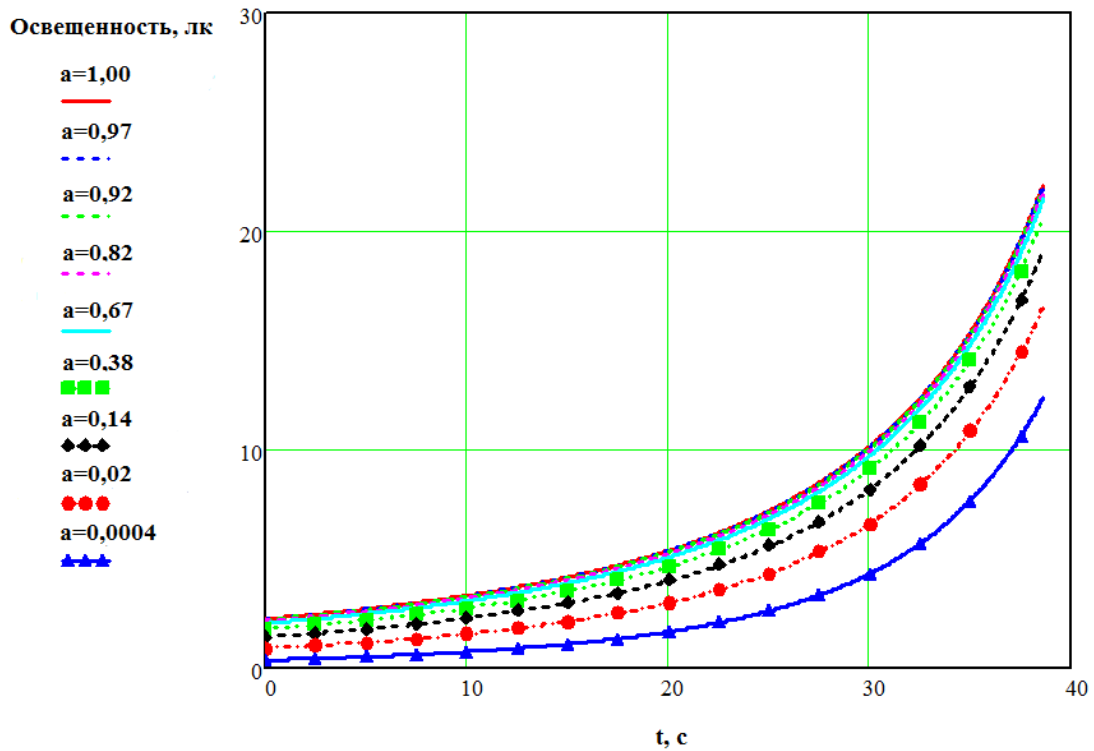


Рис. 2. График зависимости  $E_{ц}(t)$  для 82-мм осветительной мины из таблицы 1 при значении  $k = 0,5$  и при различных значениях  $a$

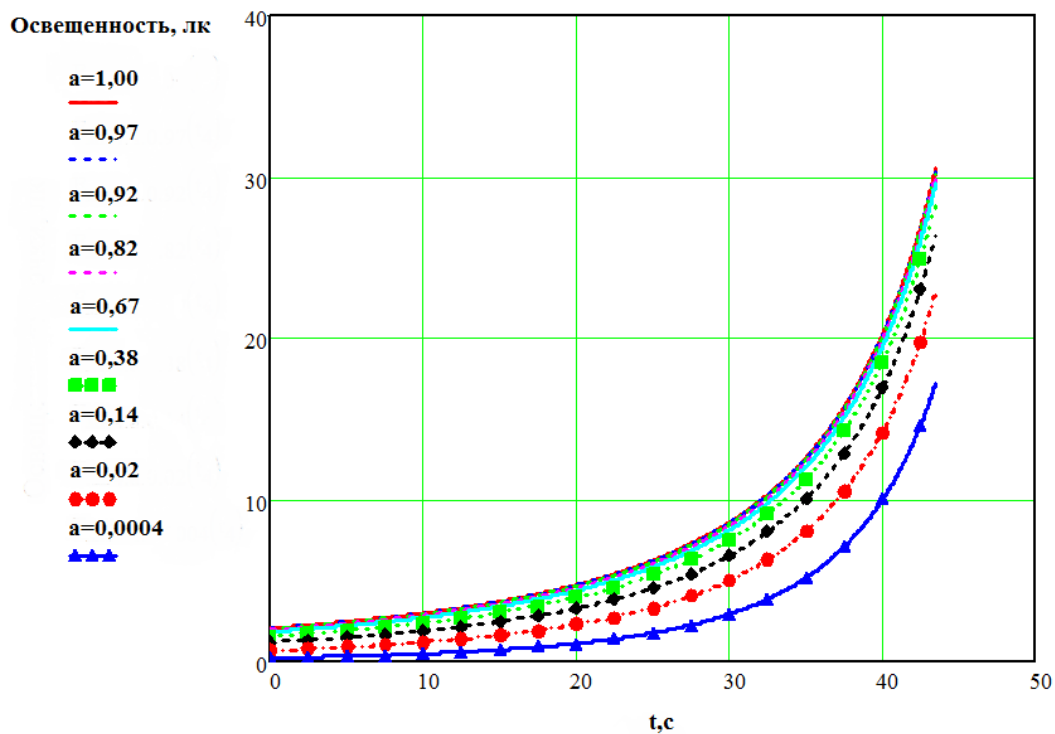


Рис. 3. График зависимости  $E_{ц}(t)$  для 107-мм осветительной мины из таблицы 1 при значении  $k = 0,5$  и при различных значениях  $a$

Погрешность определения освещенности при расчете без учета свойств атмосферы ( $a = 1,00$ ) вычислим по формуле

$$\varepsilon(a) = \frac{\frac{I}{y(t)^2} - \frac{I}{y(t)^2} \cdot a^{\frac{y(t)}{1000}}}{\frac{I}{y(t)^2}} \cdot 100 \% = \left(1 - a^{\frac{y(t)}{1000}}\right) \cdot 100 \%, \quad (7)$$

Графики зависимостей  $\varepsilon(a)$  для осветительных мин из таблицы 1 приведены на рис. 4, 5.

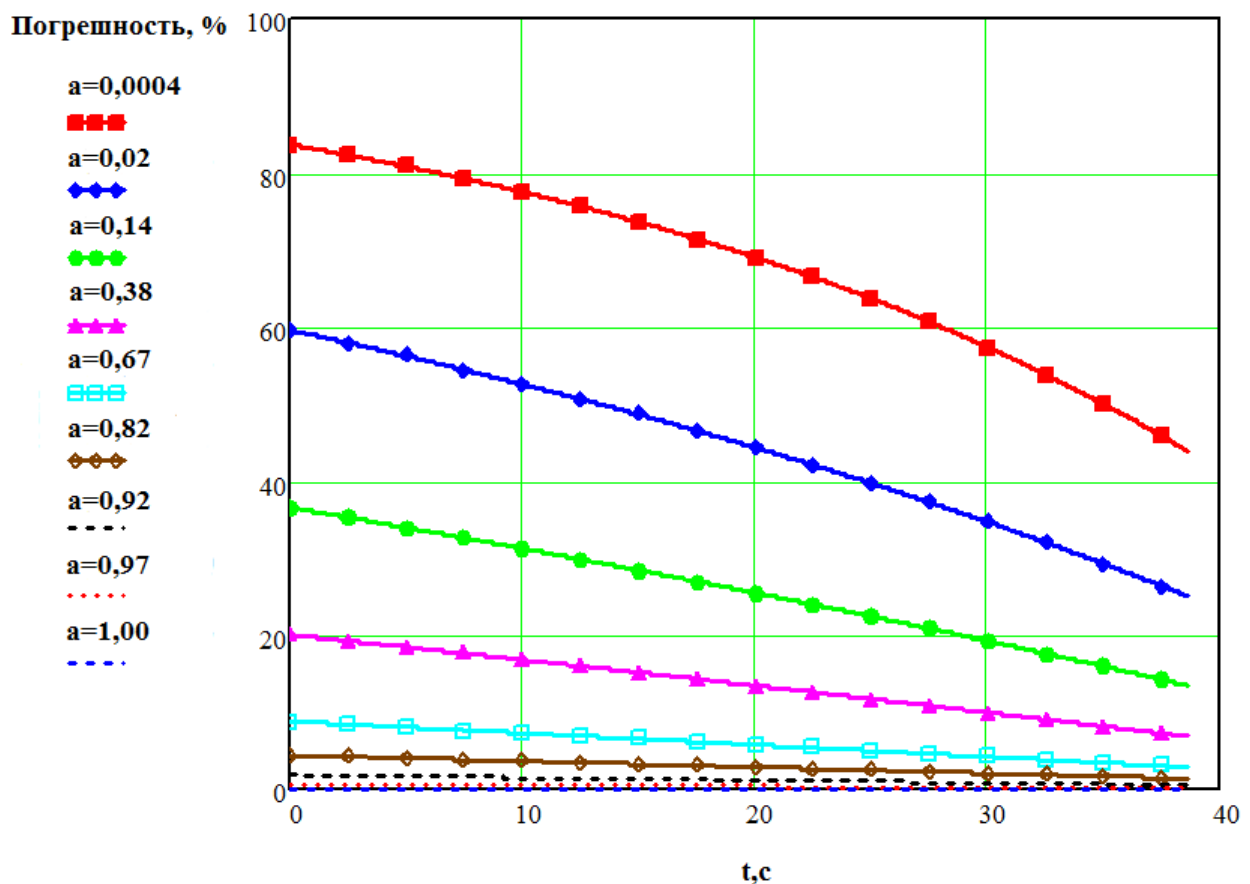
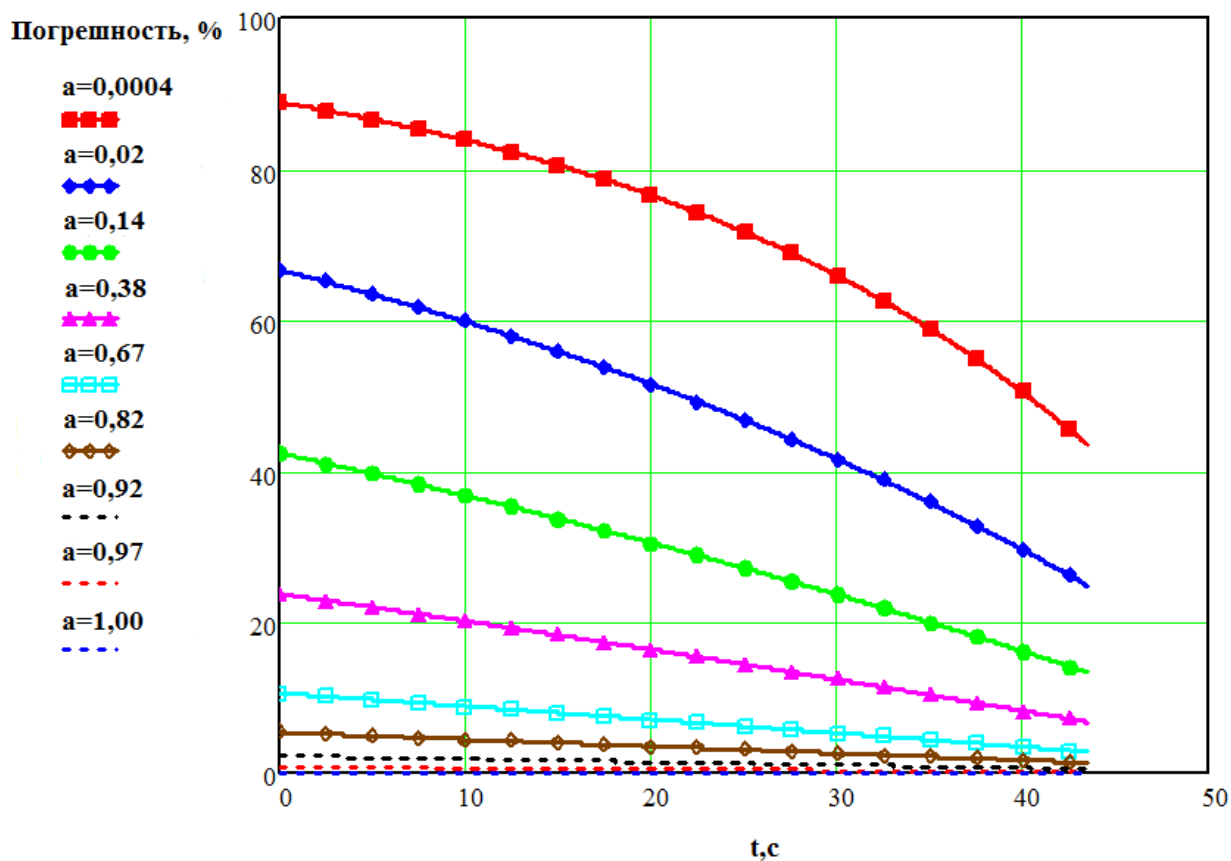


Рис. 4. График зависимости  $\varepsilon(a)$  для 82-мм осветительной мины из таблицы 1 при значении  $k = 0,5$  и при различных значениях  $a$



*Рис. 5. График зависимости  $\varepsilon(a)$  для 107-мм осветительной мины из таблицы 1 при значении  $k = 0,5$  и при различных значениях  $a$*

Приведем в таблице 2 значения наибольших погрешностей определения освещенности при расчете без учета свойств атмосферы при различных значениях  $a$  по данным [4] для различных погодных условий для 82-мм и 107-мм осветительных мин.

Таблица 2

**Значения наибольших погрешностей определения освещенности  $\varepsilon$  при расчете без учета свойств атмосферы при различных значениях  $a$  по данным [4] для различных погодных условий для 82-мм и 107-мм осветительных мин**

Визуальная оценка состояния атмосферы	Значение коэффициента прозрачности атмосферы $a$	Наибольшая погрешность определения освещенности при расчете без учета свойств атмосферы $\varepsilon, \%$	
		82-мм осветительная мина	107-мм осветительная мина
Средний туман	0,0004	83,7	88,9
Слабый туман	0,02	59,7	66,7
Очень сильная дымка	0,14	36,6	42,4
Сильная дымка	0,38	20,1	23,8
Слабая дымка	0,67	8,9	10,6
Удовлетворительная видимость	0,82	4,5	5,4
Хорошая видимость	0,92	1,9	2,3
Исключительно хорошая видимость	0,97	0,7	0,9
Идеальный случай	1,00	0,0	0,0

### Выводы

Получено аналитическое решение одномерной задачи об определении освещенности точечной цели при движении осветительного элемента осветительных парашютных мин с учетом свойств атмосферы (ее прозрачности). На основании полученных зависимостей построен график изменения освещенности точечной цели при различных значениях коэффициента  $a$  для 82-мм и 107-мм осветительных мин. Также оценена погрешность определения освещенности при расчете без учета свойств атмосферы.

На основании проведенных расчетов, можно заключить:

- Влияние поглощающих свойств атмосферы тем больше, чем больше расстояние между осветительным элементом и освещаемой целью;
- Погрешность определения освещенности при расчете без учета свойств атмосферы для осветительных мин в среднем составляет: 0,7–0,9 % (при исключительно хорошей видимости), 2–2,5 % (при хорошей видимости), 4,5–5,5 % (при удовлетворительной видимости), 9–10,5 % (при слабой

дымке), 20–24 % (при сильной дымке), 36,5–42,5 % (при очень сильной дымке), 59,5–66,5 % (при слабом тумане), 83–89 % (при среднем тумане).

Таким образом, расчет освещенности точечной цели при благоприятных погодных условиях и видимости не ниже удовлетворительной возможен без учета коэффициента прозрачности атмосферы  $a$  (при этом погрешность менее 5,5 %). Расчет при этом следует проводить для идеального случая, полагая  $a = 1,00$ .

При неблагоприятных погодных условиях (дымка, туман) учет коэффициента прозрачности атмосферы  $a$  обязателен при расчете, иначе погрешность определения освещенности может составить от 10 до 90 %.

### Список литературы

1. Платонов, А. А. Осветительные артиллерийские снаряды / Платонов А. А., Сагун Ю. И. // Техника и вооружение. – № 4. – 2013. – С. 11–18.
2. Платонов, А. А. Осветительные артиллерийские снаряды / Платонов А. А., Сагун Ю. И. // Техника и вооружение. – № 4. – 2013. – С. 39–44.
3. Платонов, А. А. Осветительные артиллерийские снаряды / Платонов А. А., Сагун Ю. И. // Техника и вооружение. – № 5. – 2013. – С. 39–44.
4. Шидловский, А. А. Основы пиротехники / А. А. Шидловский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1973. – 320 с., ил.
5. Гуревич, М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы) / Гуревич М. М. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. – 272 с., ил.
6. Селиванов, В. В. Боеприпасы : учебник: в 2 т. Т. 2 / В. В. Селиванов. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 551 с., ил.

#### *METHODOLOGICAL APPROACH TO THE ESTIMATED ASSESSMENT ILLUMINATION OF A POINT TARGET WHEN APPLYING LIGHTING MINES TAKING INTO ACCOUNT THE PROPERTIES OF THE ATMOSPHERE*

*Suldin V. A., Glazkov M. A., Deltsov A. S., Trushin A. A.*

*Abstract: the results of solving a one-dimensional problem of determining the illumination of a point target during the movement of the lighting element of illuminating parachute mines, taking into account the properties of the atmosphere (its transparency), are presented.*

*Keywords: lighting mines, illumination, illumination errors.*