



Аналитическая зависимость вероятности маскировки объектов от плотности и дисперсности аэрозоля

А.А. Брусенин, С.А. Красильников, В.Н. Пенязь,
Д.Н. Буряк, И.В. Артамонов, В.Д. Бурков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации, 111024, Российская Федерация, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19
e-mail: 27nc_1@mil.ru

Поступила 16.03.2022 г. Исправленный вариант 14.03.2023 г. Принята к публикации 27.03.2023 г.

При существующем методе оценки эффективности маскировки объектов аэрозолями применяются два параметра: длина и ширина непросматриваемой дымовой завесы с вероятностью не менее 50 %. Оба параметра получены в ходе практических испытаний средств аэрозольной маскировки. Однако они недостаточны относительно оценки маскирующей способности облака аэрозоля как пространственного образования. *Цель работы* – выявление аналитической зависимости вероятности маскировки объектов от плотности и дисперсности аэрозоля. *Материалы и методы исследования.* Использовали расширенный подход оценки вероятности маскировки при любом теоретическом значении плотности потока (интегральной концентрации, г/м²) аэрозоля по линии визирования с учетом его дисперсности, посредством расчета формирования поля вероятностей от 5 до 95 % по всей пространственной структуре аэрозольного облака. Используемый метод – моделирование на ПЭВМ зависимости доли закрытия пространства для наблюдателя (окуляра оптического прибора) частицами аэрозоля данной дисперсности и плотности потока, которая принята нами за вероятность маскировки. *Обсуждение результатов.* Показано, что полученное аналитическое выражение в результате обработки накопленных результатов моделирования на ПЭВМ полностью соответствует закономерности Буге–Ламберта–Бера, которая является обобщением многолетних практических лабораторных и полевых экспериментов с аэрозолями в воздухе и дисперсными частицами в растворах. Полученные значения вероятности позволяют получить обобщенный критерий эффективности в виде нового понятия – приведенной зоны маскировки. Данный термин в математическом смысле аналогичен приведенной зоне поражения, которая применяется для оценки нанесения ущерба боеприпасами. *Заключение.* Для полноценной оценки эффективности аэрозольного противодействия приведенную зону маскировки необходимо рассчитывать по всем возможным линиям визирования (наблюдения объекта): горизонтали, вертикали и по наклонным трассам. Данное условие отражает способ применения современного высокоточного оружия типа ПТРК Javelin, наводка которых на цель осуществляется преимущественно по горизонтали, а конечная траектория перед ударом представляет «горку» по вертикали. Теоретическая разница значений вертикальных и горизонтальных маскирующих экранов, полученная авторами с использованием новой методики расчета параметров аэрозольного облака, представлена в иллюстрациях статьи.

Ключевые слова: вероятность маскировки; дисперсность маскирующих аэрозолей; интегральная концентрация; линия визирования; маскировка аэрозолями; применение маскирующих дымов; плотность потока аэрозоля; средства маскировки аэрозолями; частицы дымов; эффективность маскировки аэрозолями.

Библиографическое описание: Брусенин А.А., Красильников С.А., Пенязь В.Н., Буряк Д.Н., Артамонов И.В., Бурков В.Д. Аналитическая зависимость вероятности маскировки объектов от плотности и дисперсности аэрозоля // Вестник войск РХБ защиты. 2023. Т. 7, № 1. С. 53–61. EDN: wuqmgr. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-53-61>

Развитие противником новых средств вооружения нового оружия, в частности, высокоточного (ВТО), обуславливает необходи-

мость адекватного ответа по всем возможным направлениям: активным и пассивным в части применения средств радиоэлектронной

борьбы, создания ложных целей и маскировки объектов применением аэрозолей для снижения величины поражения объектов (предотвращенного ущерба)¹ [1, 2].

В этой связи оценка вероятностного состояния аэрозольных образований применительно к маскирующим дымам или пиротехническим составам для имитации ложных целей или маскировки объектов является актуальной научной задачей² [3, 4]. При оценке аэрозольных образований при их применении в качестве ложных тепловых целей необходимо определять концентрацию тепловыделяющего вещества (мг/л или г/м³ – дифференциальная величина), используемого для достаточного нагрева воздуха, а при снижении заметности объектов рассчитывается суммарное количество аэрозоля по линиям визирования объекта (г/м² – интегральная величина). В настоящее время при оценке маскирующих аэрозолей используются две величины: длина и ширина непросматриваемой завесы с вероятностью не менее 0,5 (50 %). Однако они недостаточны относительно оценки маскирующей способности облака аэрозоля как пространственного образования [5].

Цель работы – выявление аналитической зависимости вероятности маскировки объектов от плотности и дисперсности аэрозоля.

Для достижения поставленной цели использовался расширенный подход оценки вероятности маскировки при любом теоретическом значении плотности потока (интегральной концентрации, г/м²) аэрозоля по линии визирования с учетом его дисперсности, посредством расчета формирования поля вероятностей от 5 до 95 % по всей пространственной структуре аэрозольного облака.

Ранее нами описан подход к математическому моделированию вероятности маскировки объектов с применением ПЭВМ для расчета доли светового потока, которому аэрозольные частицы различной дисперсности частиц создают препятствие (поглощением, отражением или рассеиванием) по ходу его распространения от объекта к наблюдателю [5].

В результате численного эксперимента на ПЭВМ получены массивы значений данной вероятности (P_i) от интегральной концентрации аэрозоля (Δ_i , г/м²) по линии визирования. Последнюю величину авторы предлагают именовать плотностью потока аэрозоля по аналогии с

Таблица 1 – Зависимость вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля с дисперсностью 1 мкм (данные авторов)

Расход АОС (Δ_i), г/м ²	Вероятность маскировки $P(i)$, доля
0,1	0,155
0,2	0,3275
0,3	0,4725
0,4	0,49
0,41	0,5005
0,5	0,595
1	0,825
1,5	0,885

другими физическими параметрами (энергии в виде тепла и света, количества радиоактивных частиц и т. д.), оцениваемыми их отношением к единице площади. При этом необходимо понимать, что применительно к маскировке аэрозолями плотность потока (по линии визирования) ориентирована перпендикулярно плоскости наблюдения объекта и оценивается как мгновенная величина в заданный интервал времени τ_i , а для величины количества света, тепла и т. д., этот параметр связан с единицей времени накопления (экспозиции) – секунда, час и т. п. Причем, для источников аэрозоля, действующих с постоянной производительностью в течение времени их горения или активного дымообразования (шашки, генераторы и дымовые машины), значение плотности потока по заданной линии визирования в этом интервале – величина постоянная [5].

Иллюстрация фрагментов полученных значений массивов вероятности маскировки от плотности потока ($P(i) - \Delta(i)$) при осуществлении моделирования на ПЭВМ приведена в таблицах 1–3.

Очевидно, что при проведении развернутых расчетов по оценке эффективности маскировки аэрозолями использование массива указанных данных неудобно, поскольку при получении значения плотности потока (Δ_k) в промежутках полученного массива (Δ_i , см. таблицы 1–3) необходимо осуществлять отдельный дополнительный цикл (при программировании на ПЭВМ) для определения соответствующего значения вероятности маскировки (P_k) методом интерполяции. В этой

¹ Вагонов С.Н. Брыксин С.В. и др. Состояние и перспективы развития ложных целей для защиты летательных аппаратов. Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы пиротехники». М.: 2015. С. 3–6.

² Емельянов М.В., Веригин А.Н. Вероятностные модели дисперсных систем в пиротехнике. Сборник материалов VI всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы пиротехники». М.: 2015. С. 268–273.

Таблица 2 – Зависимость вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля с дисперсностью 2 мкм (данные авторов)

Расход АОС (Δ_i), г/м ²	Вероятность маскировки $P(i)$, доля
0,1	0,08
0,2	0,16
0,3	0,2
0,4	0,31
0,8	0,505
0,9	0,515
1	0,535
1,5	0,73

Таблица 3 – Зависимость вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля с дисперсностью 5 мкм (данные авторов)

Расход АОС (Δ_i), г/м ²	Вероятность маскировки $P(i)$, доля
0,1	0,038
0,7	0,24
1	0,286
1,2	0,356
1,4	0,374
1,8	0,454
2,2	0,548
3,0	0,632
5	0,81

связи возникает необходимость поиска аналитической зависимости вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля.

В научной практике войск РХБ защиты ВС РФ используются логарифмически нормальный закон распределения случайной величины (1), например, вероятности величины поражения от значения экспозиционной дозы, который, по-нашему мнению, может использоваться и для определения вероятности маскировки [6]:

$$P = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{k} \ln \left(\frac{I_c}{I_{c50}} \right) \right) \right], \quad (1)$$

где: I_c – экспозиционная доза (мг×мин/л) или плотность потока (интегральная концентрация, Δ_i , г/м²) АОС по линии визирования (наблюдения за объектом);

I_{c50} – медианное значение экспозиционной дозы (плотности потока), обеспечивающие вероятность поражения заданной степени тяжести или вероятности маскировки объекта в данном диапазоне размера частиц со значением 0,5 (50 %);

$\operatorname{erf}(\alpha)$ – вероятностная функция Крампа от аргумента α в скобках;

$\sqrt{k}$ – параметр закона.

Второй возможный вариант зависимости вероятности маскировки (P) от плотности потока Δ [5, 6]:

$$P = 1 - e^{-\lambda \cdot x} = 1 - e^{-(x/x_{cp})}, \quad (2)$$

где: x_{cp} – математическое ожидание случайной величины;

λ – Параметр закона, как правило, имеет размерность, обратную случайной величине,

что обеспечивает условие "безразмерности" показателя степени экспоненциальной функции.

Уравнение (2) применительно к процессу маскировки примет вид:

$$P = 1 - e^{-a \times \Delta} \quad (3)$$

где: Δ – плотность потока по линии визирования, г/м²;

a – параметр закона, который может быть определен после логарифмирования двух частей уравнения (3) с его частичным преобразованием, м²/г:

$$a = -\ln(1-P) / \Delta \quad (4)$$

При этом параметр a может быть рассчитан как усредненная величина для множества полученных значений массивов в интервале ($P_i - \Delta_i$). При проведении сравнительных расчетов установлено, что наименьшие расхождения теоретических и практических результатов численного эксперимента, при использовании метода наименьших квадратов, обеспечивает представленная выше зависимость (3), рисунок 1.

При этом параметр a принимает следующие значения, зависящие от дисперсности аэрозоля:

$$\begin{aligned} & - 1 \text{ мкм} - (1,6684); \\ & - 2 \text{ мкм} - (0,8627); \\ & - 5 \text{ мкм} - (0,3267). \end{aligned} \quad (5)$$

Вид полученных зависимостей и их сопоставление с результатами моделирования на ПЭВМ показан на рисунках 1–3, при этом рисунки 2 и 3 соответствуют аналитической зависимости (3).

Для использования данной зависимости при оценке эффективности маскировки аэрозолем с другими размерами возможно применение двух вариантов:

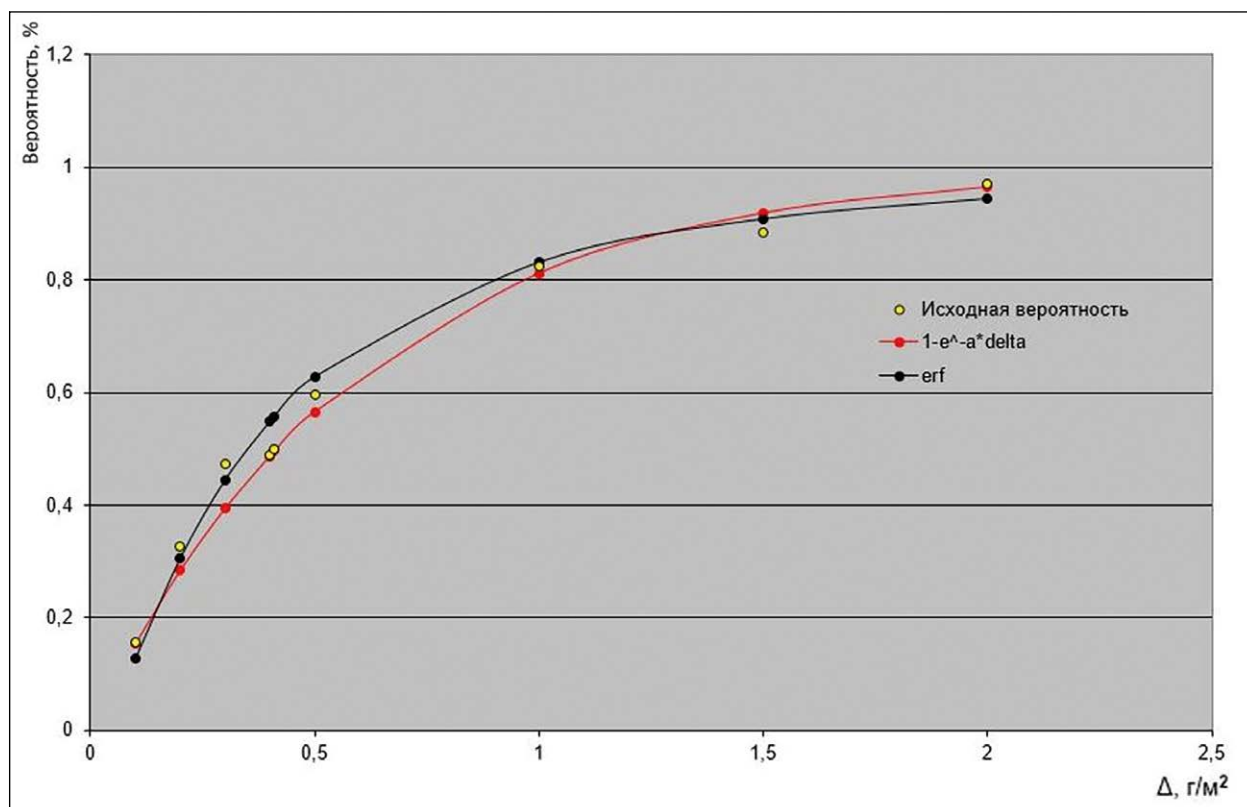


Рисунок 1 – График зависимости вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля для частиц 1 мкм (данные авторов)

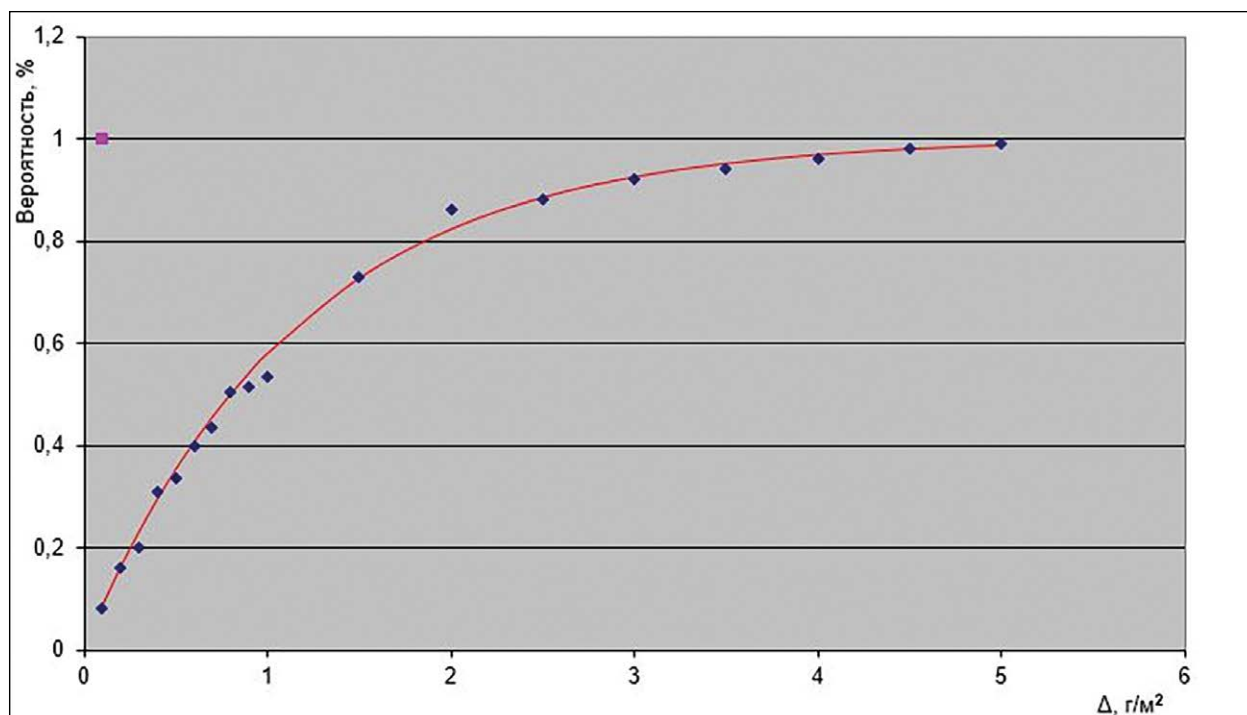


Рисунок 2 – График зависимости вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля для частиц 2 мкм (данные авторов)

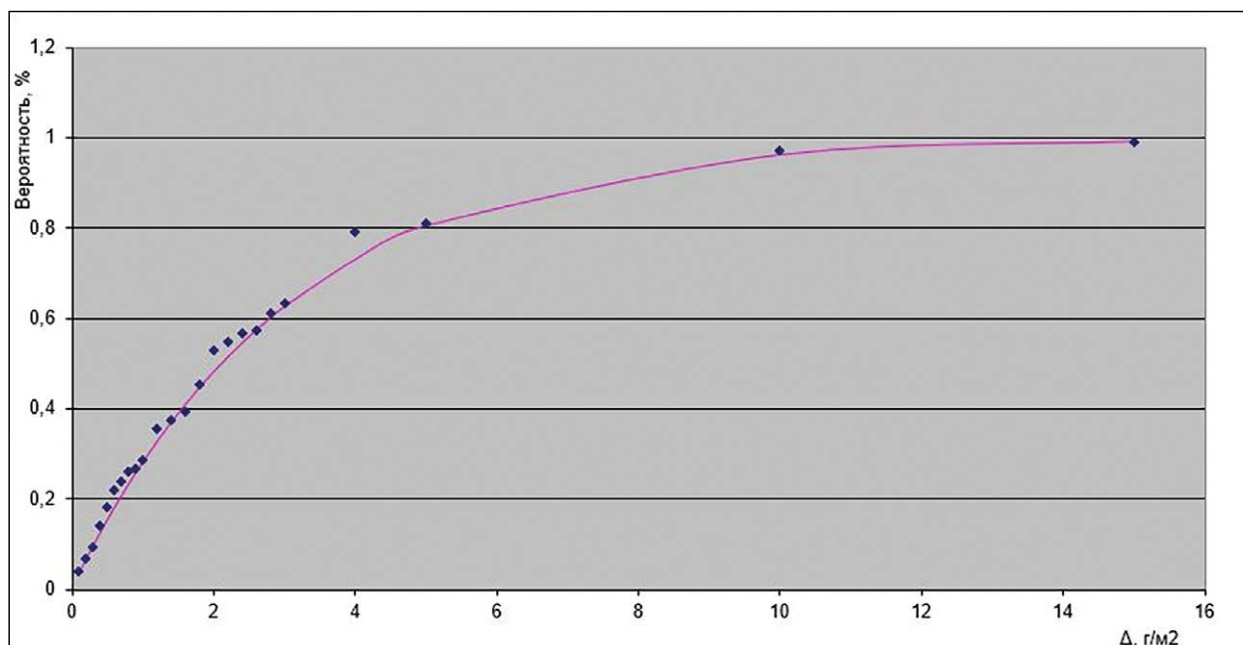


Рисунок 3 – График зависимости вероятности маскировки от плотности потока аэрозоля для частиц 5 мкм (данные авторов)

– при размерах частиц в пределах от 1 до 5 мкм – для расчета параметра α использовать метод интерполяции;

– для размера диаметра частиц за пределами данного интервала $0,9 \text{ мкм} \geq D_i \geq 5,1 \text{ мкм}$ осуществлять оценку вероятности маскировки моделированием ее на ПЭВМ, а затем осуществить расчет параметра α по алгоритму, показанному выше.

Таким образом, получен факторный закон маскировки в виде аналитической зависимости. Возможен закономерный вопрос: какая практическая польза наличия данной зависимости, в отличие от использования привычных двух параметров – длины и ширины не просматриваемой завесы с вероятностью маскировки объектов не менее 0,5 (50 %)?

Авторами статьи предлагается расширение возможности оценки эффективности маскировки применением параметра приведенной зоны маскировки относительно всего аэрозольного облака по аналогии с приведенной зоной поражения, применяемой для оценки средств поражения противника. Необходимо понимать, что в математическом смысле приведенная зона маскировки соответствует условной площади, в пределах которой вероятность маскировки равна 1,0 (100 %):

$$S_{\text{пр}} = \iint P(x, y) \times dx dy \quad (6)$$

Практический расчет этого параметра заключается в условном «разбиении» площади маскировки, перпендикулярной линии визирования (наблюдения) объекта на элементарные

площадки, в которых определяется среднее значение вероятности, что обеспечивает замену двойного интеграла в виде суммы ряда:

$$S_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^N (\bar{P}_i \times \Delta S_i), \quad (7)$$

Отношение величины для вертикального визирования аэрозольного облака к значению горизонтальной площади $S_{\text{общ}}$ может использоваться как показатель эффективности маскировки объекта на данной площади.

Для учета противодействия воздушному противнику необходима оценка маскировки в нескольких направлениях: горизонтальной (по направлению ветра и перпендикулярно ему), а также по вертикали сверху для оценки площади маскирующих экранов. Возможен вариант расчета по наклонной линии визирования по отношению к горизонту. При этом отметим, что вероятность маскировки для этих условий имеет промежуточное значение между вертикалью и горизонталью. Для расчета этих экранов необходима оценка плотности потока по линиям визирования целей с использованием известных математических моделей оценки концентрации примеси по осям координат X, Y, Z. Общий аналитический вид этих моделей для непрерывно действующих источников примеси (генераторы, шашки и дымовые машины) представлен ниже:

$$C(x, y, z) = Q \cdot \varphi(y) \cdot \Psi_z \cdot \frac{1}{U}, \quad (\text{мг/л, г/м}^3) \quad (8)$$

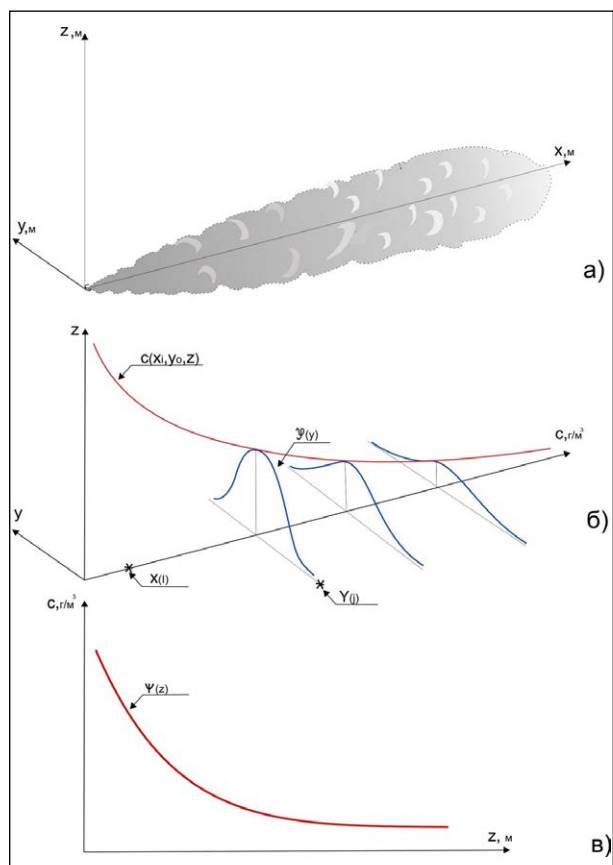


Рисунок 4 – Визуализация распространения примеси: а – визуализация распространения аэрозоля от непрерывно-действующего наземного источника (ТДА, шашки и генераторы); математическое отображение распределения примеси аэрозоля: б – по осям X, Y ; в – по оси Z (данные авторов)

где Q – производительность источника в режиме стационарного дымопуска, г/с;
 $\varphi(y)$ – функция распределения вещества по оси Y , 1/м;
 $\Psi_s = \Psi(x, z, 0)$ – функция распределения вещества по высоте Z , 1/м;
 $\bar{U}$ – средняя скорость приземного ветра на расчетной высоте, м/с.

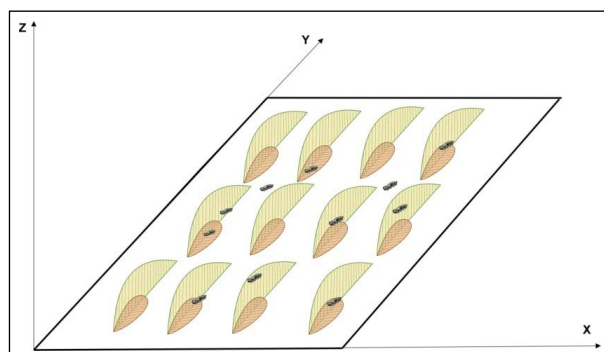


Рисунок 5 – Схема маскировки объектов формированием вертикальных и горизонтальных экранов маскировки (зеленый цвет – вертикальный, коричневый – горизонтальный экран вдоль ветра, вертикальный экран перпендикулярный ветру – не показан) (данные авторов)

Графическое отображение этих зависимостей показано на рисунке 4.

Плотность потока Δ (г/м²) примеси по линии визирования рассчитывается, исходя из этих моделей, интегрированием концентраций по заданному направлению. На основе полученного значения плотности, определяется вероятность маскировки для данной линии, а затем по всей плоскости перпендикулярной визированию. На их основе можно получить значения площади вертикальных и горизонтальных экранов маскировки объектов, графическое их отображение представлено на рисунках 5 и 6.

Такие данные позволяют разработать новые подходы по рациональной организации АЭП средствам разведки и наведения оружия противника по отношению к прежним взглядам [7–9].

Выводы

1. В результате моделирования на ПЭВМ получены статистические данные доли закрытия пространства частицами аэрозоля в зависимости от дисперсности частиц (мкм) и их плотности (интегральной концентрации по линии визирования, г/м²), которая используется как

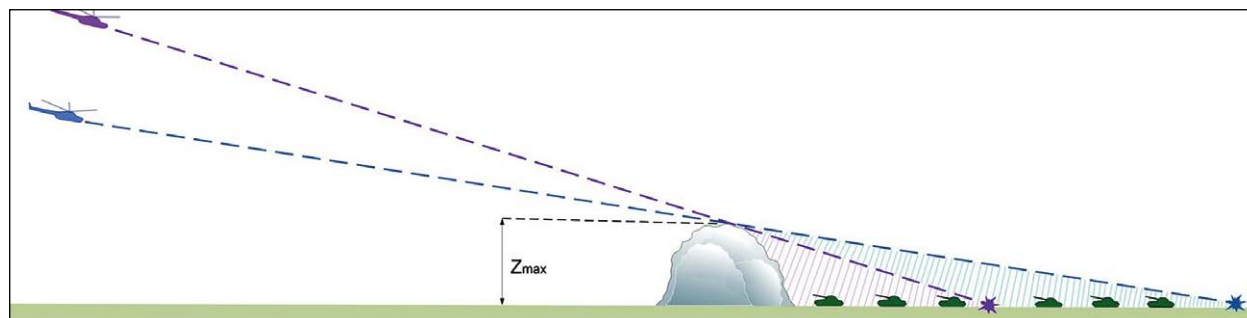


Рисунок 6 – Схема формирования вертикальной «тени» скрытия объектов от воздушных средств противника при постановке аэрозольной завесы (данные авторов)

вероятность маскировки объектов при применении маскирующих дымов для всех типов источников (точечных непрерывно-действующих, мгновенных высотных и т. д.).

2. Вероятность маскировки объекта (снижения заметности объектов) зависит от величины плотности потока (интегральной концентрации по линии наблюдения объекта), эквивалентной закономерности Буге–Ламберта–Бера.

3. Применение полученной аналитической зависимости позволяет получить обоб-

щенную оценку эффективности маскирующего действия аэрозольного облака в виде численного значения приведенной зоны маскировки объектов относительно маскируемой площади для любых линий визирования.

4. Оценка приведенной зоны маскировки возможна при использовании математических моделей распределения примеси по осям координат (X , Y , Z), соответствующих типам источников, применяемых для скрытия объектов.

Вклад авторов / Authors Contribution

Б.А.А. – редактирование статьи. **К.С.А.** – обоснование математического аппарата для выбора аналитической модели. **П.В.Н.** – постановка задачи, написание начального варианта статьи. **Б.Д.Н.** – литературный поиск, проведение расчетов по оценке параметров аналитической модели. **А.И.В.** – разработка программы для ПЭВМ по математическому моделированию маскировки. **Б.В.Д.** – оформление статьи в соответствии с требованиями к публикациям. Все авторы внесли свой вклад в концепцию рукописи, участвовали в обсуждении и написании этой рукописи, одобрили окончательную версию. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи / **B.A.A.** – editing an article. **K.S.A.** – substantiation of the mathematical apparatus for choosing an analytical model. **P.V.N.** – setting the task, writing the initial version of the article. **B.D.N.** – literature search, calculations to estimate the parameters of the analytical model. **A.I.V.** – development of a PC program for mathematical modeling of camouflage. **B.V.D.** – design of the article in accordance with the requirements for publications. All authors contributed to the concept of the manuscript, participated in the discussion and writing of this manuscript, and approved the final version. All authors have read and agreed with the published version of the manuscript. All authors contributed to the conception of the manuscript, the discussion, and writing of this manuscript, approved the final version. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Сведения о рецензировании

Статья прошла открытое рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке 27 НЦ МО РФ.

Список источников / References

1. Дронов А. Взгляды командования Бундесвера на применение БЛА // Зарубежное военное обозрение. 2014. № 12. С. 79–84.
Dronov A. The views of the Bundeswehr command on the use of UAVs // Zarubezhnoe voennoe obozrenie. 2014. № 12. P. 79–84 (in Russian).
2. Голубев С.В., Плотников С.В., Кирьянов В.К. О необходимости подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы с системами управления беспилотными летательными аппаратами и робототехническими средствами иностранных армий // Военная мысль. 2017. № 4. С. 74–80. EDN: YKGSZL.
Golubev S.V., Plotnikov S.V., Kiryanov V.K. Training of EW specialists is needed in the sphere of struggle against foreign armies' control systems over unmanned aerial vehicles and robotic means // Voennaja mysl'. 2017. № 4. P. 74–80. EDN: YKGSZL (in Russian).
3. Судаков К.М., Вагонов С.Н., Поляков Е.П. Состояние и перспективы аэрозольных средств защиты объектов ВВСТ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 12. Ч. 2. С. 204–208. EDN: TLTXOD.
Sudakov K.M., Vagonov S.N., Poljakov E.P. State and prospects of development of aerosol remedies of objects of wwse // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. 2014. Issue 12. Part 2. P. 204–208. EDN: TLTXOD (in Russian).
4. Брыксин С.В., Поляков Е.П., Вагонов С.Н. Состояние и перспективы пиротехнических средств защиты летательных аппаратов от ВТО // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 12. Ч. 2. С. 199–204.

EDN: TLTXNT.

Bryksin S.V., Poljakov E.P., Vagonov S.N. State and prospects pyrotechnics protection from aircraft precision weapons // *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2014. Issue 12. Part 2. P. 199–204. EDN: TLTXNT.

5. Колесников Д.П., Пенязь В.Н., Голышев М.А., Буряк Д.Н., Артамонов И.В. Влияние дисперсности аэрозоля на его маскирующую способность // *Вестник войск РХБ защиты*. 2021. Т. 5. № 3. С. 260–268. EDN: UYDDHO. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-3-260-268>

Kolesnikov D.P., Penyaz V.N., Golyshev M.A., Buryak D.N., Artamonov I.V. Effect of Aerosol Dispersion on Its Masking Ability // *Journal of NBC Protection Corps*. 2021. V. 5. No 3. P. 260–268. EDN: UYDDHO. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-3-260-268> (in Russian).

6. Применение дымов в бою и операции. МО СССР. М.: Воениздат, 1975. 144 с.

The use of smoke in combat and operations. USSR Ministry of Defense. Moscow: Voenizdat, 1975. 144 p. (in Russian)

7. Дымовые завесы. Извлечение из английского «Наставления о применении дымов». Ленинград: Государственное издательство. Отдел военной литературы, 1927. 28 с.

Smoke screens. Extract from the English «Manual on the use of smoke». Leningrad: Gosudarstvennoe izdatel'stvo. Otdel voennoj literatury, 1927. 28 p. (in Russian).

8. Ванин Ф.И. Боевые дымы. Пособие для оsoавиахимовского актива / Под ред. Якубовича И.В. М.: Главная редакция химической литературы, 1935. 120 с.

Vanin F.I. Combat smoke. Manual for the Osoaviakhimov asset / Ed. Yakubovich I.V. Moscow: Glavnaja redakcija himicheskoj literatury, 1935. 120 p. (in Russian).

9. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. М. 1987. 278 с.

Raist P. Aerosols. Introduction to theory. Moscow. 1987. 278 p. (in Russian).

Об авторах

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации. Российская Федерация, 111024, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19.

Брусенин Альберт Александрович. Начальник отдела, кандидат технических наук.

Красильников Сергей Александрович. Старший научный сотрудник отдела, кандидат технических наук.

Пенязь Владимир Николаевич. Старший научный сотрудник отдела, кандидат технических наук, почетный работник науки и техники РФ.

Буряк Дмитрий Николаевич. Старший научный сотрудник отдела.

Артамонов Илья Валерьевич. Научный сотрудник отдела.

Бурков Валерий Дмитриевич. Научный сотрудник отдела.

Контактная информация для всех авторов: 27nc_l@mil.ru

Контактное лицо: Пенязь Владимир Николаевич, 27nc_l@mil.ru

Analytical Dependence of the Probability of Masking Objects on the Density and Dispersion of the Aerosol

A.A. Brusenin, S.A. Krasilnikov, V.N. Penyaz, D.N. Buryak, I.V. Artamonov, V.D. Burkov

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation
e-mail: 27nc_1@mil.ru

With the existing method for evaluating the effectiveness of masking objects with aerosols, two parameters are used: the length and width of an invisible smoke screen with a probability of at least 50%. Both parameters were obtained during the practical tests of aerosol masking means. However, they are insufficient for assessing the masking ability of an aerosol cloud as a spatial formation. *The purpose of this work* is to reveal the analytical dependence of the probability of objects masking on the density and dispersion of the aerosol. *Materials and methods.* An extended approach was used to estimate the probability of masking at any theoretical value of the flux density (integral concentration, g/m²) of aerosol along the line of sight, taking into account its dispersion, by calculating the formation of a probability field from 5 to 95% over the entire spatial structure of the aerosol cloud. The method used is the simulation on a PC of the dependence of the share of space occlusion for the observer (the eyepiece of an optical device) by aerosol particles of a given dispersion and flux density, which we took as the probability of masking. *Discussion.* It is shown in the

article, that the resulting analytical expression as a result of processing the accumulated simulation results on a PC fully corresponds to the Bouguer-Lambert-Beer law, which is a generalization of many years of practical field and laboratory experiments with aerosols in the air and dispersed particles in solutions. The obtained probability values allow us to obtain a generalized efficiency criterion in the form of a new concept - the reduced masking zone. This term is mathematically analogous to the reduced impact zone, which is used to assess damage caused by munitions. *Conclusion.* For a full assessment of the effectiveness of aerosol countermeasures, the reduced masking zone must be calculated for all possible lines of sight (observation of an object): horizontally, vertically, and along inclined paths. This condition reflects the method of using modern weapons such as Javelin anti-tank systems, which are aimed at the target mainly horizontally, and the final trajectory before the impact is a «hill». The theoretical difference between the values of vertical and horizontal masking screens, obtained by the authors using a new method for calculating the parameters of an aerosol cloud, is presented in the illustrations to the article.

Keywords: probability of the camouflage; dispersion of masking aerosols; integral concentration; line of sight; aerosol masking; use of masking smoke; aerosol flux density; aerosol masks; smoke particles; aerosol masking effectiveness.

For citation: Brusenin A.A., Krasilnikov S.A., Penyaz V.N., Buryak D.N., Artamonov I.V., Burkov V.D. Analytical Dependence of the Probability of Masking Objects on the Density and Dispersion of the Aerosol // Journal of NBC Protection Corps. 2023. V. 7. № 1. P. 53–61. EDN: wuqmgr. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-53-61>

Conflict of interest statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

Peer review information

The article has been peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Funding. Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation.

References

See P. 59–61.

Authors

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation.

Albert Alexandrovich Brusenin. Head of the Department. Candidate of Technical Sciences.

Sergey Alexandrovich Krasilnikov. Senior Researcher. Candidate of Technical Sciences.

Vladimir Nikolayevich Penyaz. Senior Researcher. Candidate of Technical Sciences. Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation.

Dmitry Nikolayevich Buryak. Researcher.

Ilya Valerievich Artamonov. Researcher.

Valery Dmitrievich Burkov. Researcher.

Contact information for all authors: 27nc_l@mil.ru

Contact person: Vladimir Nikolayevich Penyaz; 27nc_l@mil.ru