



Оценка структуры свободного пространства в аэрозольном облаке

А.А. Брусенин[✉], Д.Н. Буряк, В.Н. Пенязь, И.В. Артамонов

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

Возрастание роли высокоточного оружия (ВТО) в системе вооружения зарубежных стран обозначает необходимость совершенствования средств и способов комплексной маскировки войск, составной частью которой является применения аэрозолей. Статья является продолжением исследований по оценке эффективности маскировки объектов аэрозолями на основе расчета доли пространства, скрываемого (экранируемого) частицами аэрозоля для свободного прохождения видимого света, несущего информацию об объекте и окружающем фоне. По мнению авторов, при распознавании объекта сквозь подвижную структуру аэрозоля кроме доли свободного пространства влияние на маскировку оказывает и его структура, а именно размеры ячеек от минимума до максимума, которые суммарно это пространство и составляют.

Цель работы – оценка нового фактора маскировки, то есть характера распределения в аэрозольном облаке структуры свободного пространства в зависимости от плотности аэрозоля (интегральной концентрации, г/м²) по линии визирования (наблюдения) и размера его частиц, мкм.

Метод исследования. Теоретическое моделирование прохождения света через облако аэрозоля с использованием ПЭВМ.

Обсуждение. Выполненные расчеты на ПЭВМ показывают существование вероятностного распределения ячеек свободного пространства по их величине (размеру и площади), которые и составляют суммарное значение свободного пространства, оцениваемого ранее нами в целом. Неравномерность размера ячеек обусловлена турбулентностью приземного слоя воздуха с распределенным в нем аэрозолем. Расчеты показали, что размер ячеек крайне мал: не более 100 мкм².

Заключение. Малый размер ячеек и их динамическое распределения в пространстве в ходе распространения облака аэрозоля может рассматриваться в математическом плане как дополнительное слагаемое вероятности маскировки, за счет невосприятости (неразличения) маскируемых объектов. Термин новый и, возможно, требует уточнения, как в теоретическом плане, так и в ходе экспериментов в аэрозольной камере. Но его смысл заключается в существовании минимального предельного телесного угла различия (восприятости) глазом человека пикселей видимой информации сквозь подвижную структуру аэрозольного облака на определенной дальности наблюдения.

Ключевые слова: вероятность маскировки; интегральная концентрация; искажение; маскировка аэрозолями; невосприятие объекта; плотность аэрозоля; скрытие; турбулентность

Для цитирования: Брусенин А.А., Буряк Д.Н., Пенязь В.Н., Артамонов И.В. Оценка структуры свободного пространства в аэрозольном облаке. Вестник войск РХБ защиты. 2024;8(2):176–184. EDN:jkidlh. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2024-8-2-176-184>*

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов: нет.

Финансирование: федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр имени академика Н.Д. Зелинского» Министерства обороны Российской Федерации (27 НЦ МО РФ).

Поступила 08.04.2024 г. После доработки 01.06.2024 г. Принята к публикации 28.06.2024 г.

Estimation of the Structure of Free Space in an Aerosol Cloud

Albert A. Brusenin[✉], Dmitry N. Burjak, Vladimir N. Penjaz', Ilya V. Artamonov

27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky
of the Ministry of Defence of the Russian Federation
Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation
✉ e-mail: 27nc_1@mil.ru

The increasing role of high-precision weapons (HPW) in the weapons system of foreign countries means the need to improve the means and methods of complex camouflage of troops, an integral part of which is the use of aerosols. The article is a continuation of research on the assessment of the effectiveness of camouflage of objects with aerosols based on the calculation of the proportion of space hidden (screened) by aerosol particles for the free passage of visible light carrying information about the object and the surrounding background. According to the authors, when recognizing an object through a moving aerosol structure, in addition to the proportion of free space, its structure also influences camouflage, namely the size of the cells from minimum to maximum, which together make up this space.

The purpose of the work is to assess a new camouflage factor, that is, the nature of the distribution in an aerosol cloud of the structure of free space depending on the density of the aerosol (integral concentration, g/m^2) along the line of sight (observation) and the size of its particles, μm .

Research method. Theoretical modeling of the passage of light through an aerosol cloud using a PC.

Discussion. The calculations performed on a PC show the existence of a probabilistic distribution of free space cells by their size (size and area), which make up the total value of free space, previously estimated by us as a whole. The unevenness of the cell size is due to turbulence of the surface air layer with aerosol distributed in it. The calculations showed that the cell size is extremely small: no more than 100 μm .

Conclusion. The small size of the cells and their dynamic distribution in space during the propagation of the aerosol cloud can be considered in mathematical terms as an additional term of the probability of camouflage, due to the non-perception (non-distinction) of the camouflaged objects. The term is new and, perhaps, requires clarification, both theoretically and during experiments in an aerosol chamber. But its meaning lies in the existence of a minimum limiting solid angle of difference (perception) by the human eye of pixels of visible information through the moving structure of an aerosol cloud at a certain observation range.

Keywords: aerosol camouflage; camouflage probability; concealment; distortion; integral concentration (aerosol density); object non-perception

For citation: Brusenin A.A., Burjak D.N., Penjaz' V.N., Artamonov I.V. Estimation of the Structure of Free Space in an Aerosol Cloud. *Journal of NBC Protection Corps.* 2024;8(2):176–184. EDN:jkidlh.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2024-8-2-176-184>

Financial disclosure: The authors have no financial interests in the submitted materials or methods.

Conflict of interest statement: The authors declare no conflict of interest.

Funding: 27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky of the Ministry of Defence of the Russian Federation (27 SC MD RF).

Received April 8, 2024. Revised June 1, 2024. Accepted June 27, 2024

В последние годы особое внимание уделяется новым подходам к оценке эффективности маскировки войск. В предыдущих статьях в рамках данного вопроса было предложено за эффективность маскировки принимать два параметра:

долю закрытия пространства частицами аэрозоля для прохождения прямого света. Эта доля одинакова для прозрачного и не-

прозрачного аэрозоля при прочих равных условиях;

преломление света также участвует в маскировке объекта, при прохождении света через прозрачный аэрозоль происходит многократное отражение и преломление частицами лучей света, которые меняют свое первоначальное направление и, попадая в глаз наблюдателя (окуляр оптического прибора),

вносят дополнительное искажение в отображаемую картину.

Но кроме этих факторов, по нашему мнению, имеет значение также не только величина доли открытого пространства, но и его свойства. А именно, количество ячеек свободного пространства и их размер.

Ранее нами была установлена зависимость влияния дисперсности аэрозоля на его маскирующую способность [1]. Обработка полученных при моделировании на ПЭВМ статистических результатов позволила получить аналитическую зависимость следующего вида значения вероятности скрытия или экранирования свободного пространства (P_c) для прохождения прямых лучей в зависимости от дисперсности аэрозоля и его интегральной концентрации по линии визирования, названной нами плотностью потока [2]:

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

где: a – параметр закона (маскирующая способность), $\text{м}^2/\text{г}$, a имеет значения, зависящие от дисперсности аэрозоля (для диаметра частиц аэрозоля в 1 $\mu\text{м}$ a равно 1,6684; для 2 $\mu\text{м}$ – 0,8627, 5 $\mu\text{м}$ – 0,3267);

Δ – плотность потока аэрозоля по линии визирования (интегральная концентрация), $\text{г}/\text{м}^2$.

Полученная при моделировании на ПЭВМ зависимость подобна закону Ламберта–Бера [2]. Данный факт указывает на достаточную корректность выбранного авторами пути моделирования процесса маскировки на ПЭВМ. Очевидно, что математическая сумма доли скрытия пространства аэрозолем и свободной доли для прохождения света равны единице. Но при этом возникает вопрос: а какое значение свободного пространства позволяет наблюдателю распознать объект сквозь облако частиц аэрозоля? Или другими словами: какая плотность аэрозоля достаточна, чтобы считать объект скрытым от наблюдения. Оценка размеров свободного пространства в аэрозольном облаке явля-

ется параметром, влияющим на возможность распознавания объекта через помехи. Существующий экспериментальный метод оценки маскировки с использованием аэрозольной камеры заключается в измерении доли пропускаемого света. Эта суммарная доля может складываться из N -ячеек свободного пространства при прохождении света через аэрозоль. Каждая ячейка – своеобразный пиксель видимой информации, который при данных условиях может распознаваться зрением человека.

Вопрос распознавания объекта при маскировке его аэрозолем имеет долгую историю и первоначально в отечественной науке преобладала точка зрения, что основным фактором при этом является соотношение яркостей объекта, фона и собственно самого аэрозоля [3–5]. Некорректность такого подхода относительно маскирующих способностей черного и белого дыма показана в заявке на изобретение [6]. В указанной заявке, которая подтверждена патентом, предложены два параметра маскировки: скрытия и искажения. Рассматриваемый в статье вопрос анализа свободного пространства в облаке маскирующего аэрозоля является расширением научного анализа маскировки как сложного явления, связанного не только с физикой процесса распространения аэрозоля в атмосфере, но и с некоторыми особенностями обработки зрительной информации человеческим мозгом.

Такая постановка вопроса никогда не возникала перед отечественными и зарубежными исследователями¹. В определенной степени это оправдано, поскольку разобраться с такими тонкостями можно только посредством использования ПЭВМ. Возникающий после этой фразы скепсис у определенной части читателей можно компенсировать аргументом: если расчеты на ПЭВМ [1, 2] привели нас к закону Ламберта–Бера в части оценки скрытия объекта аэрозолем, значит правомерно использование разработанного подхода и к оценке структуры свободного пространства в аэрозольном облаке.

¹ Аэрозольное противодействие средствам разведки и управления оружием противника: Энциклопедия, Министерство обороны Российской Федерации. URL: https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details_rvsn.htm?id=12601@morfDictionary (дата обращения: 15.04.2024).

Буряк СИ. Комплексная защита войск от средств поражения, экономическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. ВА РВСН имени Петра Великого; 2004.

Как спрятать город? Аэрозольные войска. URL: <https://dzen.ru/a/YpvGktKD3ANa9QM> (дата обращения: 02.04.2024).

Латышев, Елизавета Комарова. Дымовая маскировка: в ЦНИИТОЧМАШ рассказали о новых боеприпасах постановки аэрозольной завесы – РТ на русском: 12 августа 2023 г. URL: <https://russian.rt.com/russia/article/1186814-cniitochmash-aerazol-boepripas?ysclid=lui57m2bwl428844450> (дата обращения: 02.04.2024).

Гражданская защита. Энциклопедия в 4 томах. Том 1(А–И), под общ. ред. С.К. Шойгу, МЧС России М.: Московская типография № 2; 2006.

Цель работы – оценка нового фактора маскировки, то есть характера распределения в аэрозольном облаке структуры свободного пространства в зависимости от плотности аэрозоля (интегральной концентрации, г/м²) по линии визирования (наблюдения) и размера его частиц, мкм.

Метод исследования. Теоретическое моделирование прохождения света через облако аэрозоля с использованием ПЭВМ.

Таким образом, задачей исследования является моделирование случайного процесса распределения аэрозольных частиц в пространстве, и, соответственно, промежутков между ними для свободного прохождения света с применением ПЭВМ.

Прежде чем перейти к математическому анализу свободного пространства в аэрозольном облаке (АО), обратимся к детской игре составления картинок из пазлов. Как правило, к совокупности пазлов придается исходное изображение. Но даже если этого изображения нет, то составить картину соответствующую, например, формату А4 из 10 пазлов, возможно. При постепенном увеличении числа пазлов, допустим от 100 до 1000, данная задача значительно усложняется, тем более, если доля имеющихся пазлов равна, например, 50 % от необходимого их количества. А если представить, что эти мельчайшие пазлы постоянно перемещаются по плоскости, то задача объективного зрительного восприятия изображения может оказаться вовсе не решаемой.

Выполним логический перенос этой задачи на маскировку фона и объекта аэрозольным облаком. Допустим, доля скрытия аэрозольного пространства составляет 50 % (наблюдаемая картина фона и объекта напо-

ловину скрыта от наблюдателя). Достаточно очевидно, что если открытое пространство в некотором телесном угле наблюдения имеет условно 10 окон видимости примерно равных по величине (постепенно смещающихся по ветру), то уловить в нем интересующий объект возможно. А если этих движущихся мелких окон видимости в пределах прежнего телесного угла наблюдения того же самого фона и объекта сотни тысяч и более, с соответствующим значительным уменьшением их линейного размера, то задача значительно усложняется. Из этих рассуждений делаем предварительный вывод, что распознавание объекта на некотором фоне при применении маскирующих аэрозолей зависит не только от доли свободного пространства, через которую видимой частью спектра ЭМИ переносится информация об объекте и фоне, но и от структуры «окон прямой видимости», а именно их численности на единицу маскируемой площади и их размера.

В этой связи нами была предпринята попытка решения данной задачи на ПЭВМ. Сущность моделирования, по смыслу получения интересующего нас результата, противоположна прежней задаче оценки доли скрытия пространства аэрозолем [1], но идентична по выбору исходных данных и логике расчетов, рисунок 1.

Исходными данными являются частицы аэрозоля заданного размера (мкм) и плотности потока (г/м²), которые распределены случайным образом с координатами Xч(I) и Yч(I) на маскируемой площади. Распределение этих частиц по глубине, а именно – по линии визирования вдоль оси Z (перпендикулярной плоскости рисунка или плоскости осей X и Y), перпендикулярной направлению

Схема расчета свободной ячейки для прохождения прямых лучей на маскируемой площади

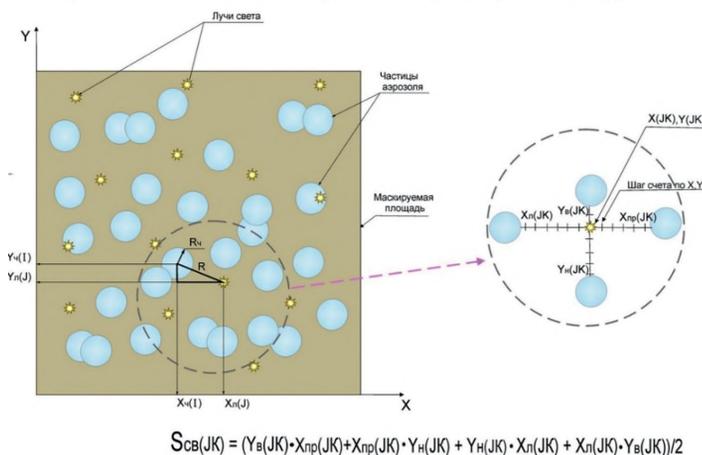


Рисунок 1 – Схема оценки размера ячейки свободного пространства (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)

визирования – во внимание не принимается, поскольку важна только их проекция. На этой же плоскости случайным образом задаются координаты световых лучей $X_l(J)$ и $Y_l(J)$. Задача оценки скрытия сводилась к расчету доли световых лучей, попавших в аэрозольные частицы [1]. Попадание луча света на частицу происходит в случае, когда величина R (расстояние между лучом и центром соседней аэрозольной частицы) будет меньше радиуса частицы ($R < r$). Продолжение данной задачи заключается в расчете свободного пространства ($S_{св}(JK)$) в окрестности лучей, не попавших в аэрозольную частицу (где расстояние больше R).

Алгоритм расчета площади ячейки свободного пространства заключается в следующем (см. рисунок 1):

из лучей массива по переменной J , не попавших в частицы, формируется новый массив по переменной JK ;

из точки каждого данного луча с координатами $X(JK)$ и $Y(JK)$ делается шаг *вправо* по оси X , кратный, например, 0,1 диаметра частицы и осуществляется проверка попадания новой смещенной точки в любую соседнюю частицу. Если попадания не было (расстояние между лучом и центром частицы по-прежнему больше радиуса частицы), то шаги повторяются до попадания. После фиксирования факта попадания запоминается величина плеча свободного пространства (количество выполненных шагов, умноженных на величину шага за вычетом величины полшага), обозначенная, как $X_{пр}(JK)$;

аналогично формируются плечи свободного пространства *влево*, *вверх* и *вниз*, рисунок 1;

полученные величины являются катетами прямоугольников, поэтому оценка их площади, соответствующей ячейке свободного пространства, не представляет трудностей, что отражено в формуле на *рисунке 1*.

Правомерно замечание, что при данном алгоритме в промежутке между катетами могут оказаться частицы, которые будут пропущены и, следовательно, реальная величина свободного пространства будет меньше. Это верно, но мы пока проводим расчеты с четырьмя лучами, а не с восемью и более, поскольку машинное время на настоящее время для решения одной задачи занимает более двух суток. Возможности его сокращения нами продуманы: необходимо вокруг каждого не попавшего луча формировать массив соседних частиц, например, в пределах двадцати-тридцати диаметров частиц. И при проверке свободного пространства работать не со всеми частицами на маскируемой пло-

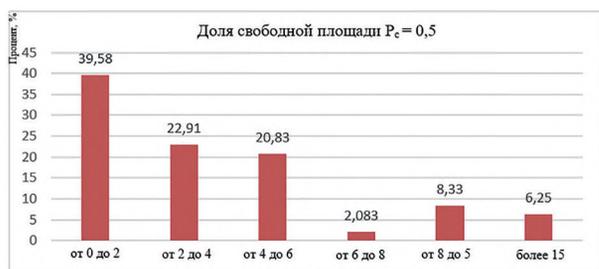
щади, а только с ними. Это условие сократит расчетное время в десятки раз.

Полученные же результаты по оценке свободного пространства с использованием только четырех направлений «математического зондирования» аэрозольного облака (АО) можно трактовать следующим образом: использование восьми и большего количества лучей могут уменьшить размеры ячеек, и, соответственно, наши расчеты по четырем направлениям по предложенному алгоритму при оценке свободного пространства будут несколько завышены относительно объективного результата.

Полученные первые результаты оценки свободного пространства в аэрозольном облаке, по представленному выше алгоритму, представлены на *рисунках 2–4*.

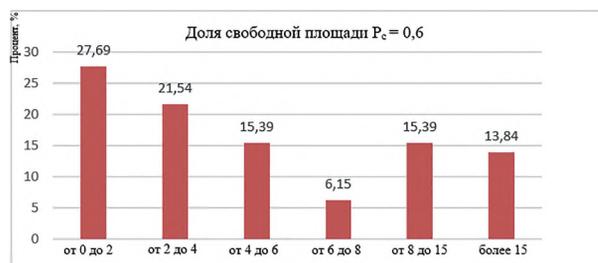
Конечно, пока они недостаточны для полной статистической картины, но необходимы для понимания особенности маскировки. Следует обратить внимание, что количество ячеек свободного пространства и количество частиц аэрозоля сопоставимы. Главный вопрос: для чего все эти длительные расчеты на предельных возможностях обычных ПЭВМ? Дело в том, что наши глаза имеют особенность: мы воспринимаем условный пиксель информации о фоне и объекте при некотором угловом разрешении. При этом имеют значение и другие факторы: освещенность и разница в яркости объекта и фона, но угловое разрешение доминирующее. Накопив необходимую статистику по оценке структуры величины свободного пространства в зависимости от дисперсности и плотности аэрозоля, можно найти критичные их значения, которые превращают облако аэрозоля, а именно некоторую его часть, в не просматриваемую сплошную зону. Эту долю формально просматриваемой маскируемой площади, но не воспринимаемой нашим зрением, мы предлагаем назвать вероятностью невосприимчивости.

Данный эффект нераспознавания объектов мы можем наблюдать на многих фотоснимках аэрозольных образований сверху от шашек и дымовых машин в виде практически сплошной не просматриваемой области. Дело в том, что распространение облака аэрозоля (дыма) подчиняется нормальному закону. Расчеты показывают, что концентрации примеси на директрисе облака аэрозоля (по оси) превышают концентрации на периферии (на удалении трех вероятных отклонений – сигм) более 15 раз. Казалось бы, что, исходя из этого плотность аэрозоля, визуально наблюдаемая глазами сверху, должна лучше просматриваться на периферии и хуже по



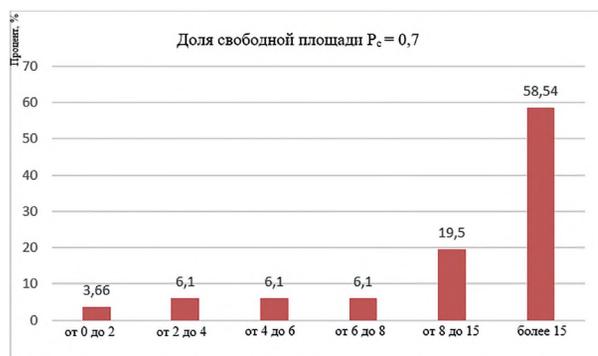
Площадь ячейки свободного пространства в единицах площади одной частицы, ед.
Количество частиц – $2,6 \times 10^{11}$, $1/\text{м}^2$
Количество ячеек свободного пространства – 4×10^{10} , $1/\text{м}^2$
Средняя площадь ячейки свободного пространства – $12,2 \text{ мкм}^2$

Рисунок 2 – Распределение ячеек свободного пространства, кратных площади одной аэрозольной частицы ($DЧ = 2 \text{ мкм}$) (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)



Площадь ячейки свободного пространства в единицах площади одной частицы, ед.
Количество частиц – $2,05 \times 10^{11}$, $1/\text{м}^2$
Количество ячеек свободного пространства – $2,6 \times 10^{10}$, $1/\text{м}^2$
Средняя площадь ячейки свободного пространства – $22,4 \text{ мкм}^2$

Рисунок 3 – Распределение ячеек свободного пространства, кратных площади одной аэрозольной частицы ($DЧ = 2 \text{ мкм}$) (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)



Площадь ячейки свободного пространства в единицах площади одной частицы, ед.
Количество частиц – $1,5 \times 10^{11}$, $1/\text{м}^2$
Количество ячеек свободного пространства – 9×10^9 , $1/\text{м}^2$
Средняя площадь ячейки свободного пространства – $80,7 \text{ мкм}^2$

Рисунок 4 – Распределение ячеек свободного пространства, кратных площади одной аэрозольной частицы ($DЧ = 2 \text{ мкм}$) (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)

центру. Но в реальности непросматриваемые границы облака аэрозоля обозначены, как правило, достаточно четко, постепенного размытия – нет.

Формирование сплошного белого пятна при применении прозрачного аэрозоля объясняется следующим. Моделируются отдельные лучи (кванты света), а реальные микропиксели пучков света от фона, объекта, неба с облаками и солнцем разной цветности (зеленого, коричневого, голубого и т.д.), попадая на частицы прозрачного аэрозоля, буквально рассыпаются на кванты: отражаясь и преломляясь под разными углами в зависимости от угла падения к нормали частицы. Эти кванты разной цветности смешиваются в пространстве и расходятся во все стороны в результате множественности процессов отражения и преломления. Часть из них, попадая в глаз наблюдателя, и создают зрительное восприятие сплошного молочного пятна примерно одинаковой тональности с достаточно четко выраженными внешними границами. Объяснение этого эффекта вытекает из выполненных расчетов. Да, плотности аэрозоля в центре и на периферии АО значительно различаются, но величина ячеек свободного пространства и на периферии не позволяет визуально воспринимать информацию об объекте и фоне.

Кроме этого, следует обратить внимание на психологические особенности восприятия человеком подвижной картинки. В кино используется 24 статичных кадра в секунду. При этом движение объекта мы воспринимаем как непрерывное. А в случае с аэрозолем, мы имеем дело с микроизображениями неполной картинкой, да еще сменяемой почти непрерывно из-за хаотичного движения аэрозоля.

Еще один пример: демонстрация ночного движения автомобилей на трассе с повышенной частотой кадров. Воспринимаемый нами свет автомобильных фар сливается в сплошную полосу, хотя разрывы между автомобилями в 40–50 м имеются. Если учесть, что средний линейный размер свободной ячейки на представленных рисунках 2–4, при варьировании доли свободного пространства в АО от 50 до 70 %, находится в пределах от 4 до 9 мкм, то «смена картинка» в ячейке происходит за время не более 3×10^{-6} с при скорости перемещения АО 3 м/с! Данная величина получена следующим образом.

Линейный размер ячейки примерно равен корню квадратному от ее площади, из рисунка 4 корень квадратный из 81 мкм^2 равен 9 мкм. Время экспозиции свободной

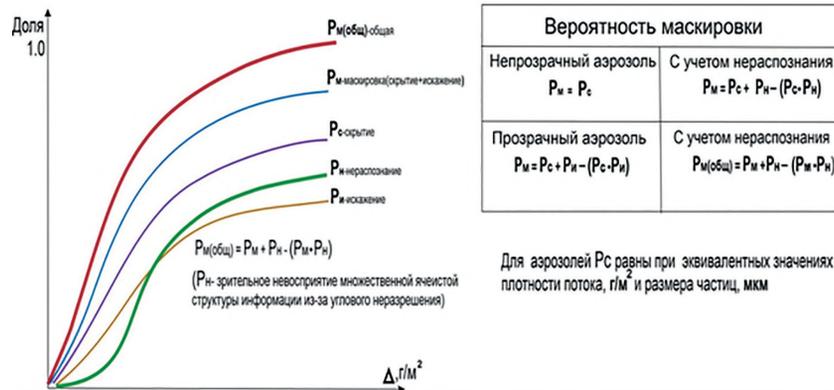


Рисунок 5 – Изменение вероятностей скрытия и искажения фона и, соответствующей им суммарной вероятности маскировки при применении прозрачных аэрозолей, а также вероятностей маскировки с учетом дополнительного фактора – вероятности невосприятия информации (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)

ячейки ($T_{экс}$) равно отношению ее линейного размера к скорости перемещения облака или:

$$T_{экс} = 9 \text{ мкм} / (3 \text{ м/с}) = 9 \text{ мкм} / (3 \times 10^6 \text{ мкм/с}) = 3 \times 10^{-6} \text{ с} \quad (2)$$

Проверить эффект нераспознавания объектов сквозь малые окна видимости необходимо на опытах с аэрозольной камерой визуальным наблюдением и фотографированием любой картинке на проекторе (подвижной и статичной) сквозь аэрозоль с изображением фона и объекта на условной дальности 1–2 км. Полученные результаты могут привести нас к необходимости новой формулировки эффективности маскировки, а именно: обеспечения заданной сплошной площади маскировки с требуемой вероятностью, например, не ниже 0,99 с учетом нового параметра – невосприятия объекта. А также к возможному снижению расхода аэрозолеобразующего состава (АОС) с учетом доказанного эффекта невосприятия для противодействия средствам разведки в видимом диапазоне. Таким образом, будущие расчеты вероятности маскировки прозрачным и непрозрачным аэрозолем необходимо будет дополнить учетом вероятности нераспознавания, что повышает снижение заметности объекта в целом, соответствующие зависимости показаны в таблице рисунка 5.

В настоящее время при оценке маскировки площади мы «делим» данную площадь на сотни мелких площадок и в каждой из них определяем вероятность маскировки (в пределах от 0 до 0,99) с использованием зависимости (1). Итоговая вероятность маскировки оценивается как средняя величина. При получении практического результата на аэрозольной камере невосприятия объекта при

скрытии его, например, при величине более 0,3, необходимо будет всем этим площадкам присваивать вероятность маскировки равную 1. Следовательно, учет фактора невосприятия повысит итоговое значение маскировки площади по отношению к используемому в настоящее время подходу.

Можно отметить, что идея применения ячеистых структур для маскировки реализована в виде инженерных средств маскировки общего назначения (ИСМОН), или на разговорном уровне – маскировочных сетей, которые достаточно эффективно скрывают ВВСТ на расстояниях нескольких сотен метров, рисунок 6.

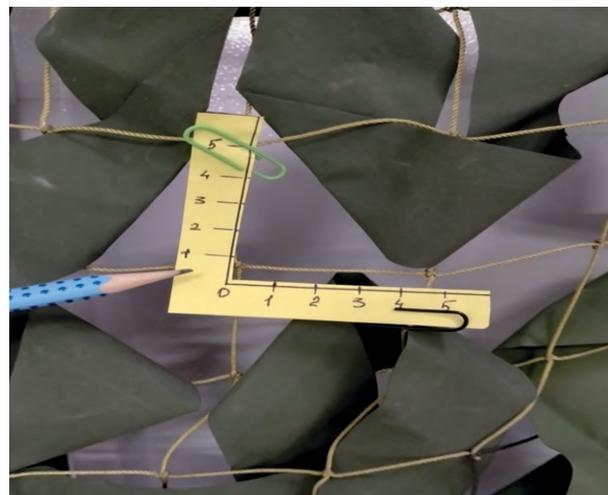


Рисунок 6 – Фрагмент современного инженерного средства маскировки общего назначения. Серо-сиреневый цвет – свободное пространство фона (стена помещения) (рисунок подготовлен авторами по собственным данным)

Можно обратить внимание, что размер свободных ячеек в этих средствах достигает 5 см, а в АО, по нашим расчетам, не более 100 мкм. Возможно замечание, что некоторыми исследователями в целях сокращения расходов аэрозолеобразующего состава предлагалось создание на маскируемых площадях не сплошной маскировки, а распятой, что аналогично рассматриваемому в статье вопросу. Это не совсем так, если сравнивать данные эффекты по масштабу явления. Выполненные нами расчеты дают оценку *микрораспятию* внутри АО, а применение множества источников аэрозоля соответствуют *макрораспятию* маскируемой площади.

Выводы

1. При оценке эффективности маскировки объектов аэрозолями необходимо учитывать структуру и размер ячеек свободного пространства в аэрозольном облаке в зависимости от дисперсности частиц и их плот-

ности (интегральной концентрации, г/м²) по линии визирования с применением ПЭВМ, что обуславливает повышение расчетной величины вероятности маскировки только по скрытию объекта и его искажению.

2. На распознавание (восприятие) информации влияет не только общая доля свободного пространства для прохождения прямых лучей с информацией об объекте и фоне, но и характер размера свободных ячеек в аэрозольном облаке относительно разрешающей способности человеческого зрения.

3. Количество свободных ячеек сопоставимо с количеством частиц аэрозоля на единицу маскируемой площади, то есть составляет миллиарды на 1 м² при чрезвычайно их малом размере (не более ста микрон по протяженности).

4. Необходима экспериментальная проверка наличия фактора невосприятия (нераспознавания) объекта на аэрозольной камере с учетом всех факторов маскировки: скрытия, искажения и нераспознавания.

Список источников/References

1. Колесников ДП, Пенязь ВН, Голышев МА, Буряк ДН, Артамонов ИВ. Влияние дисперсности аэрозоля на его маскирующую способность. *Вестник войск РХБ защиты*. 2021;5(3):260–8. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-3-260-268>
Kolesnikov DP, Penyaz VN, Golyshov MA, Buryak DN, Artamonov IV. Effect of Aerosol Dispersion on Its Masking Ability. *Journal of NBC Protection Corps*. 2021;5(3):260–8. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-3-260-268>
2. Брусенин АА, Красильников СА, Пенязь ВН, Буряк ДН, Артамонов ИВ, Бурков ВД. Аналитическая зависимость вероятности маскировки объектов от плотности и дисперсности аэрозоля. *Вестник войск РХБ защиты*. 2023;7(1):53–61. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-53-61>
Brusenin AA, Krasilnikov SA, Penyaz VN, Buryak DN, Artamonov IV, Burkov VD. Analytical Dependence of the Probability of Masking Objects on the Density and Dispersion of the Aerosol. *Journal of NBC Protection Corps*. 2023;7(1):53–61. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-1-53-61>
3. Вейцер ЮИ, Лучинский ГП. *Химия и физика маскирующих дымов*. М.: Государственное издательство оборонной промышленности; 1938. С. 208.
Weitzer YI, Luchinsky GP. *Chemistry and physics of masking smokes*. Moscow: State production of the defense industry; 1938. P. 208 (in Russian).
4. Вейцер ЮИ, Лучинский ГП. *Маскирующие дымы*. М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы; 1947. С. 203.
Weitzer YI, Luchinsky GP. *Masking smokes*. Moscow–Leningrad: State scientific and technical publishing house of chemical literature; 1947. P. 203 (in Russian).
5. Ванин ФИ. *Боевые дымы. Пособие для осоавиахимовского актива*. М.: Главная редакция химической литературы; 1935. С. 120.
Vanin FI. *Combat smoke. Benefit for osoaviakhim assets*. Moscow: Main editorial office of chemical literature; 1935. P. 120 (in Russian).
6. Брусенин АА, Голышев МА, Пенязь ВН, Буряк ДН, Артамонов ИВ, Полякова ГЮ. Способ количественной оценки маскирующей способности аэрозоля и установка для его осуществления. Патент Российской Федерации № 2814453; 2024.
Brusenin AA, Golyshov MA, Penyaz VN, Buryak DN, Artamonov IV, Polyakova GYu. Possibility of quantitative assessment of the masking ability of an aerosol and installation for its implementation. Patent RU 2814453; 2024 (in Russian).

Брусенин А.А., Буряк Д.Н., Пенязь В.Н., Артамонов И.В.
Brusenin A.A., Burjak D.N., Penjaz' V.N., Artamonov I.V.

7. Судаков КМ, Вагонов СН, Поляков ЕП. Состояние и перспективы аэрозольных средств защиты объектов ВВСТ. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2014;12(2):204–8. EDN:tltxod.

Sudakov KM, Vagonov SN, Polyakov EP. State and prospects of aerosol means of protection of military and military equipment facilities. *News of Tula State University. Technical science*. 2014;12(2):204–8 (in Russian). EDN:tltxod.

8. Гребенникова ИВ. *Методы математической обработки экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие*. Екатеринбург; 2015. С. 124.

Grebennikova IV. *Methods of mathematical processing of experimental data. Educational and methodological manual*. Ekaterinburg; 2015. P. 124.

9. Кальной АИ, Тарасов СВ, Катунин ФА, Стрельников СИ. Анализ использования маскирующих завес (дымовых завес) в военных действиях. *Наука и военная безопасность*. 2017;4(11):13–20. EDN:zxkrmh.

Kralnoy AI, Tarasov SV, Katunin FA, Strelnikov SI. Analysis of camouflage screen (smoke screen) employment in military operations. *Science and military security*. 2017;4(11):13–20 (in Russian). EDN:zxkrmh.

10. Королёв АЮ, Королёва АА, Яковлев АД. *Маскировка вооружения, техники и объектов. Учебное пособие*. Санкт-Петербург: Университет ИТМО; 2015. С. 136.

Korolev AY, Koroleva AA, Yakovlev AD. *Camouflage of weapons, equipment and objects. Tutorial*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics; 2015. P. 136 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contributions

Брусенин А.А. – редактирование статьи; **Буряк Д.Н.** – поиск научной литературы, разработка алгоритма расчетов по оценке параметров свободного пространства в аэрозольном облаке, иллюстративный материал; **Пенязь В.Н.** – постановка задачи, написание начального варианта статьи; **Артамонов И.В.** – разработка программы для ПЭВМ (на языке Python) по математическому моделированию поставленной задачи, выполнение расчетов / **Brusenin A.A.** – editing the article; **Burjak D.N.** – search for scientific literature, development of a calculation algorithm for assessing the parameters of free space in an aerosol cloud, illustrative material; **Penjaz V.N.** – statement of the problem, writing the initial version of the article; **Artamonov I.V.** – development of a PC program (in Python) for mathematical modeling of the problem, performing calculations

Сведения о рецензировании / Peer review information

Статья прошла двустороннее анонимное «слепое» рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе / The article has been doubleblind peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Об авторах/ Authors

Брусенин Альберт Александрович. Начальник научно-исследовательского отдела, кандидат технических наук.

Буряк Дмитрий Николаевич. Научный сотрудник отдела.

Пенязь Владимир Николаевич. Старший научный сотрудник, канд. техн. наук, почетный работник науки и техники РФ.

Артамонов Илья Валерьевич. Научный сотрудник отдела.

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

Контактное лицо: Брусенин Альберт Александрович; 27nc_l@mil.ru

27 Scientific Centre Named after Academician N.D. Zelinsky of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation.

Albert A. Brusenin. Head of the Research Department, Cand. Sci. (Techn).

Dmitry N. Burjak. Researcher of the Department.

Vladimir N. Penjaz'. Senior Researcher, Cand. Sci. (Techn), Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation.

Ilya V. Artamonov. Researcher of the Department.

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

Contact person: Albert Aleksandrovich Brusenin; 27nc_l@mil.ru