І.С. Кравчук¹, С.М. Туренко¹, О.І. Сподін¹, В.І. Нікітченко², Р.М. Чигрин³

¹Товариство з обмеженою відповідальністю “Науково-виробнича фірма “Адрон”, Київ

²Державний науково-дослідний інститут випробування і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів

³Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МАСКУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОЗОЛЬНИХ УТВОРЕНЬ З УРАХУВАННЯМ КОНТРАСТНОСТІ ОБ’ЄКТІВ, ЩО ПРИКРИВАЮТЬСЯ

Стаття присвячена розробці методики визначення маскувальних характеристик аерозолеутворюючих речовин та аерозольних засобів з врахуванням контрасту об’єктів, що прикриваються аерозольним утворенням, при спрощеному підході до визначення масової концентрації аерозолі на трасі спостереження. Даний підхід ґрунтується на одному з положень теорії перенесення оптичного випромінювання у розсіюючих та поглинаючих середовищах, яке полягає у тому, що показник ослаблення аерозолі пропорційний концентрації цього аерозолі на шляху проходження випромінювання. Це означає, що при утворенні аерозолі у постійному об’ємі відношення показника ослаблення аерозолі до масової концентрації цього аерозолі не залежить від масової концентрації, а залежить тільки від фізико-хімічних характеристик речовини, що використовується для формування аерозольного утворення. Це дає змогу, створивши довільну концентрацію аерозолі у постійному об’ємі і, визначивши показник ослаблення для цієї концентрації аерозолі, визначити параметр маскуючої здатності. Вимірювання показника ослаблення оптичного випромінювання в аерозолі виконується відомими фотометричними методами. Отримано математичні залежності обчислення маскуючої маси та непрозорості довжини аерозольних утворень як функції від маскуючої здатності аерозольного утворення та контрасту об’єкту на підстилаючому фоні.

Ключові слова: аерозольне утворення, маскувальна здатність, маскувальна маса, показник ослаблення випромінювання, контраст об’єкта.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз досвіду локальних війн та збройних конфліктів останніх десятиліть показує, що одним з ефективних підходів до захисту об’єктів озброєння і військової техніки від візуального та апаратного спостереження, а також від їх ураження високоточними системами озброєння, є застосування аерозольних утворень (АУ) [1–2]. Особливо актуальним питання захисту об’єктів озброєння і військової техніки постає у зв’язку з широким поширенням нових засобів розвідки і систем наведення високоточної зброї з інформаційними каналами, спектральна чутливість яких може знаходитись у будь-якому з діапазонів оптичного випромінювання (ОВ) – від ультрафіолетового (0,2...0,4 мкм) до довгохвильового (8...14 мкм), а також лазерних систем інформації (далекоміри) та систем само- і теленаведення, в яких використовуються лазери з довжинами хвиль, переважно, $\lambda = 0,8...1,6$ мкм [3]. Ця обставина зумовлює пошук нових аерозолеутворюючих речовин (АУР) і розробку нових аерозольних засобів (АЗ), характеристики яких дають змо-

гу ефективно протидіяти даним засобам розвідки і системам наведення високоточної зброї. Необхідним етапом у процесі створення нових АУР і АЗ є етап визначення та тестування основних параметрів як самих АУР, так і АЗ, зокрема їх маскувальних характеристик, таких як маскувальна здатність та маскувальна маса, а також величина непрозорості довжини АУ. Тому питання розробки методик обґрунтування і визначення маскувальних характеристик АУР та АЗ на основі сучасних підходів є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням стану та перспектив розвитку аерозольних засобів захисту присвячена значна кількість публікацій, наприклад, [4–6]. У даних публікаціях, в основному, розглядаються питання необхідності розробки нових засобів аерозольної протидії та вдосконалення способів підвищення ефективності аерозольного захисту об’єктів озброєння і військової техніки. Розгляд питань створення нових АУР і АЗ можна знайти в патентних публікаціях, наприклад [7–8]. Питання визначення маскувальних характеристик АУР та АЗ у відкритій літературі висвітлені досить обмежено. Наприклад, у [8–9] розглядаються

способи визначення маскувальної здатності та маскувальної маси АУР, які передбачають трудомістку процедуру експериментального визначення масової концентрації аерозолі на трасі спостереження. Крім того, отримувані результати за даними способами не пов'язані з характеристиками помітності об'єктів, що прикриваються АУ, зокрема з їх контрастом.

Мета статті – розробка методики визначення маскувальних характеристик АУР та АЗ з врахуванням контрасту об'єктів, що прикриваються, при спрощеному підході до визначення масової концентрації аерозолі на трасі спостереження.

Виклад основного матеріалу

У теперішній час штучно створені АУ широко застосовуються для:

- прикриття військових об'єктів і дій підрозділів від візуального спостереження і прицільного вогню;
- протидії технічним засобам розвідки – фотографічним, телевізійним, нічного бачення, тепловізійним, лазерним;
- зниження ефективності високоточної зброї з лазерними, телевізійними і тепловізійними системами наведення.

Основними вимогами до АУР є наступні:

- високі маскувальні характеристики, що визначаються, перш за все, концентрацією АУР в атмосфері, достатній для неможливості виявлення об'єктів. Чим менша така концентрація, тим кращі маскувальні властивості даної АУР;
- висока аерозолеутворююча здатність, під якою розуміють відношення кількості аерозолі до кількості витраченого АУР;
- екологічна чистота як АУР, так і продуктів в АУ;
- незмінність характеристик, зручність та безпечність при зберіганні, транспортуванні і застосуванні;
- дешевизна і можливість масового виробництва з доступної сировини.

Найбільш важливими маскувальними характеристиками АУР є їх маскувальна здатність та маскувальна маса [9–10].

Маскувальна здатність формулюється як значення показника ослаблення ОВ в аерозолі, отриманим при витраті одиниці маси АУР для утворення одиниці об'єму АУ.

Під маскувальною масою розуміють загальну масу АУР, яка необхідна для маскування об'єкта одиничної площі.

Для оцінки маскувальних характеристик АУР необхідно вимірювати дві характеристики АУ – її оптичну прозорість, на основі якої визначають показник ослаблення ОВ в аерозолі, та масову концентрацію аерозолі в АУ.

Вимірювання оптичної прозорості аерозолі

виконується відомими фотометричними способами і не викликають будь яких труднощів [11].

Визначення масової концентрації аерозолі в АУ виконується шляхом відділення дисперсної фази від дисперсного середовища. Найбільш поширеним методом відділення дисперсної фази від дисперсного середовища є метод фільтрації [9]. Процес визначення масової концентрації аерозолі є досить трудомістким.

Оптичні явища, що спостерігаються при проходженні ОВ через аерозолі, зводяться до розсіювання, відбиття та поглинання випромінювання, внаслідок чого ОВ ослаблюється.

Процеси розсіювання, відбиття та поглинання ОВ в АУ суттєвим чином залежать від геометричних розмірів частинок, що утворюють аерозоль. Найбільше ослаблення ОВ виникає тоді, коли геометричні розміри частинок аерозолі близькі до довжини хвилі оптичного випромінювання λ .

До найбільш поширених АУР відносяться фосфор (білий або червоний), піротехнічні матеріали (металхлоридні і антраценові) та рідинні суміші, утворені на основі солярного масла або дизельного палива. Дані АУР утворюють полідисперсні аерозольні системи, що містять частинки, діаметри яких знаходяться у межах від 0,1 до 2,0 мкм, причому максимальна кількість частинок має розміри біля 0,8 мкм [12]. Це означає, що дані АУР можуть ефективно застосовуватися для маскування в ультрафіолетовому ($\Delta\lambda = 0,2 - 0,4 \text{ мкм}$), видимому ($\Delta\lambda = 0,4 - 0,8 \text{ мкм}$), та ближньому інфрачервоному (ІЧ) ($\Delta\lambda = 0,8 - 1,8 \text{ мкм}$) діапазонах довжин хвиль.

Для придання маскувальних властивостей аерозолів у короткохвильовому ($\Delta\lambda = 1,8 - 3,0 \text{ мкм}$), середньохвильовому ($\Delta\lambda = 3 - 5 \text{ мкм}$) та довгохвильовому ($\Delta\lambda = 8 - 14 \text{ мкм}$) ІЧ діапазонах довжин хвиль, до складу АУ вводять тверді частинки у вигляді, наприклад, алюмінієвого або графітового порошку з розмірами частинок від 2 до 20 мкм [8]. Тобто, АУ в атмосфері можна розглядати як полідисперсне розсіююче та поглинаюче середовище, а для описання оптичних явищ у такому середовищі можна застосовувати положення теорії перенесення ОВ у розсіюючих та поглинаючих середовищах [13].

Основним фізичним явищем, що спостерігається під час поширення ОВ через АУ, є ослаблення цього випромінювання, яке залежить від виду АУР, концентрації аерозольних частинок на шляху поширення випромінювання, розмірів частинок АУ, довжини хвилі λ ОВ, тощо.

Якщо для діапазону довжин хвиль $\Delta\lambda$ можна прийняти припущення, що проходження випромінювання через АУ не залежить від довжини хвилі λ , то ослаблення ОВ можна описувати законом Бугера-Бера:

$$F_{\Delta\lambda} = F_{0\Delta\lambda} \cdot e^{-\alpha_{\Delta\lambda} \cdot L}, \quad (1)$$

де $F_{0\Delta\lambda}$ – потік випромінювання на вході АУ;
 $F_{\Delta\lambda}$ – потік випромінювання на виході АУ;
 $\alpha_{\Delta\lambda}$ – показник ослаблення, m^{-1} ; L – довжина
 траси поширення ОВ в АУ, m ; e – основа натурального логарифму.

Чим менша ширина діапазону довжин хвиль $\Delta\lambda$, тим точнішими будуть обчислення за формулою (1). Для практичних розрахунків параметри з індексом $\Delta\lambda$ у формулі (1) можна визначати у діапазонах довжин хвиль $\Delta\lambda$, що становлять діапазони ультрафіолетового, видимого, ближнього, короткохвильового, середньохвильового та довгохвильового ІЧ діапазонів, межі яких зазначені вище.

Показник ослаблення АУ $\alpha_{\Delta\lambda}$ можна отримати з формули (1) у наступному вигляді:

$$\alpha_{\Delta\lambda} = -\frac{1}{L} \ln \frac{F_{\Delta\lambda}}{F_{0\Delta\lambda}}. \quad (2)$$

Формула (2) свідчить про те, що показник ослаблення АУ $\alpha_{\Delta\lambda}$ може бути визначений експериментально шляхом вимірювання потоків випромінювання $F_{0\Delta\lambda}$ і $F_{\Delta\lambda}$ при заданій величині L .

Показник ступеню у формулі (1) являє собою оптичну товщину $\tau_{\Delta\lambda}$:

$$\tau_{\Delta\lambda} = \alpha_{\Delta\lambda} \cdot L. \quad (3)$$

Досить часто для обґрунтування вимог до оптичних характеристик АУ використовується величина його оптичної товщини у такій постановці: необхідно визначити порогове значення $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}$ оптичної товщини АУ, коли при

$$\tau_{\Delta\lambda} > \tau_{\Delta\lambda\text{пор}} \quad (4)$$

забезпечується переривання можливості спостереження (виявлення, класифікації, впізнання) об'єкта візуально, або за допомогою технічних засобів.

Відстань L_θ , на яку поширюється оптичне випромінювання в АУ при її оптичній товщині $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}$, є дальністю видимості об'єкта, і визначається за формулою:

$$L_\theta = \frac{\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}}{\alpha_{\Delta\lambda}}. \quad (5)$$

Якщо $L < L_\theta$, то об'єкт крізь АУ спостерігається, якщо $L > L_\theta$, то об'єкт крізь АУ не спостерігається.

Наявність АУ на лінії візування об'єкта призводить до зниження його оптичного контрасту K , який визначається виразом:

$$K = \frac{|B_O - B_\Phi|}{B_O + B_\Phi}, \quad (6)$$

де B_O , B_Φ – яскравість об'єкта і фону, відповідно, при цьому можливі ситуації, як $B_O > B_\Phi$ так і

$$B_O < B_\Phi.$$

Умовою гарантованого переривання можливості спостереження об'єкта є зниження його контрасту K , що спостерігається через АУ, до порогового рівня $K_{\text{пор}}$, тобто $K \leq K_{\text{пор}}$. Порогові значення контрастів залежать від індивідуальних особливостей операторів і частотно-контрастних характеристик технічних засобів спостереження, і знаходяться у межах 0,01...0,05 [14].

За даними [10] переривання можливості спостереження об'єкта чорного кольору через АУ досягається при його оптичній товщині $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}} = 4,4$.

Таке значення порогової оптичної товщини відповідає лабораторним умовам спостереження через АУ об'єкта чорного кольору, що має реальний контраст $K \approx 1$, а пороговий рівень контрасту відповідає мінімальному його значенню $K_{\text{пор}} \approx 0,01$. В реальних польових умовах спостереження об'єкта через АУ $K < 1$ і $K_{\text{пор}} > 0,01$, тоді і значення $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}$ буде меншим, тобто $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}} < 4,4$.

У ряді робіт, зокрема [15], представлені результати досліджень впливу реального контрасту об'єкта (контраст об'єкта, що спостерігається без впливу АУ) на значення оптичної товщини АУ, яка необхідна для переривання можливості спостереження цього об'єкта.

На рис. 1, для прикладу, наведена залежність $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}$ від реального контрасту об'єкта K для візуального каналу спостереження ($\Delta\lambda = 0,4 - 0,8 \mu\text{м}$) при наступних умовах: об'єкт має камуфлююче покриття зеленого кольору з коефіцієнтом відбиття 0,2; об'єкт спостерігається на типовому фоні – степ і ґрунтова дорога; порогові значення контрасту – $K_{\text{пор}} = 0,01...0,03$. Дані умови спостереження об'єктів можуть вважатися типовими і використовуватися для обґрунтування вимог до засобів створення АУ.

Рис. 1. Залежність порогових значень оптичної товщини АУ $\tau_{\Delta\lambda\text{пор}}$ від реального контрасту об'єкта K

Джерело: розроблено авторами за даними [15].

Як відомо [10], основними характеристиками АУР є маскувальна здатність $M_{\Delta\lambda}$ та маскувальна маса $MM_{\Delta\lambda}$, які визначаються формулами:

$$M_{\Delta\lambda} = \frac{\alpha_{\Delta\lambda}}{C}, \text{ м}^2 / \text{с}; \quad (7)$$

$$MM_{\Delta\lambda} = C \cdot L_e, \text{ с} / \text{м}^2, \quad (8)$$

де C – концентрація аерозолію на шляху проходження оптичного випромінювання, $\text{с} / \text{м}^3$.

Одною з основних тактичних характеристик аерозольних засобів (АЗ) (пристроїв для створення АУ) є така характеристика, як непрозора довжина АУ, під якою розуміють відстань D_H від АЗ у напрямку поширення АУ, на якій у поперечному її перетині, внаслідок зменшення концентрації аерозолію, зменшується величина $\alpha_{\Delta\lambda}$ і L_e стає більшою, ніж реальна ширина a АУ, при цьому перестає виконуватися умова (4). Схема визначення D_H показана на рис. 2.

Рис. 2. Схема визначення непрозорої довжини АУ:

- X – напрям поширення АУ; 1 – межі АУ;
- 2 – умовні межі значень L_e ; a – ширина АУ;
- $b-b$ поперечний перетин АУ, де $L_e = a$

Джерело: розроблено авторами.

Для визначення величини D_H використовується емпірична формула, що враховує закономірності зміни концентрації аерозолію та ширини простору, у якому поширюється АУ, при збільшенні відстані від АЗ, а також вплив вітру та стан вертикальної стійкості приземних шарів атмосфери під час формування АУ. Формула для визначення D_H має вигляд [10]:

$$D_H = \frac{70 \cdot Q}{k \cdot u \cdot MM_{\Delta\lambda}}, \text{ м}, \quad (9)$$

де Q – секундний розхід АУР, $\text{с} / \text{с}$; k – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує ступінь вертикальної стійкості атмосфери ($k=2$ при

інверсії; $k=3$ при ізотермії; $k=4$ при конвекції); u – швидкість вітру, $\text{м} / \text{с}$.

Першим недоліком формули (9) є те, що вона не враховує вплив реального контрасту об'єкта на значення оптичної товщини АУ, при якій переривається можливість спостереження цього об'єкта. Другим недоліком цієї формули можна вважати необхідність використання параметра $MM_{\Delta\lambda}$, експериментальний спосіб отримання якого, у відповідності до формули (8), передбачає виконання досить трудомісткої процедури визначення масової концентрації C аерозолію на трасі спостереження. Така процедура виконується шляхом уловлювання аерозольних частинок спеціальними фільтрами з наступним визначенням маси аерозольних частинок, які осіли на фільтрах, при цьому повинен бути відомим об'єм АУ, який був перекачаний через указані фільтри [9].

Для усунення перелічених недоліків формули (9) введемо до неї параметр $M_{\Delta\lambda}$, для чого на основі формул (7) і (8) отримаємо:

$$MM_{\Delta\lambda} = \frac{\tau_{\Delta\lambda, \text{норм}}}{M_{\Delta\lambda}}, \quad (10)$$

тоді формулу (9) можна переписати у наступному вигляді:

$$D_H = \frac{70 \cdot Q \cdot M_{\Delta\lambda}}{k \cdot u \cdot \tau_{\Delta\lambda, \text{норм}}}. \quad (11)$$

При визначенні непрозорої довжини АУ D_H за формулою (11), на відміну від формули (9), є можливість враховувати величину $\tau_{\Delta\lambda, \text{норм}}$, що залежить від реального оптичного контрасту об'єкта (див. рис. 1).

Величина маскувальної здатності $M_{\Delta\lambda}$, що входить до формули (11), може також визначатися за способом, аналогічним способу визначення параметра $MM_{\Delta\lambda}$, але, як згадано вище, такий спосіб надто громіздкий.

Фахівцями НВФ “Адрон” (м. Київ, Україна) розроблено більш простий і менш витратний спосіб визначення маскувальної здатності $M_{\Delta\lambda}$. Цей спосіб ґрунтується на одному з положень теорії перенесення ОВ у розсіюючих та поглинаючих середовищах, яке полягає у тому, що показник ослаблення $\alpha_{\Delta\lambda}$ аерозолію пропорційний концентрації C цього аерозолію на шляху проходження випромінювання [11]. Це означає, що при утворенні аерозолію у постійному об'ємі відношення $\alpha_{\Delta\lambda} / C$, що входить у вираз (7), не залежить від концентрації C аерозолію (при збільшенні C у n разів, $\alpha_{\Delta\lambda}$ теж збільшується у n разів), а залежить тільки від фізико-хімічних характеристик речовини, що використовується для

створення АУ. Це дає змогу, створивши довільну концентрацію C аерозолі у постійному об'ємі і визначивши показник ослаблення $\alpha_{\Delta\lambda}$ для цієї концентрації аерозолі, за формулою (7) визначити параметр $M_{\Delta\lambda}$. Сутність визначення показника ослаблення $\alpha_{\Delta\lambda}$ полягає у вимірюванні $F_{0\Delta\lambda}$ і $F_{\Delta\lambda}$ за допомогою фотометричних пристроїв, що функціонують у заданому діапазоні довжин хвиль $\Delta\lambda$, і обчисленні величини $\alpha_{\Delta\lambda}$ за формулою (2).

Схема обладнання, за допомогою якого визначається маскувальна здатність $M_{\Delta\lambda}$ АУР, показана на рис. 3.

Дане обладнання включає до свого складу герметичну аерозольну камеру 1 об'ємом W . З аерозольною камерою сполучено пристрій 2 переведення АУР у стан аерозолі. На бокових протилежних стінках аерозольної камери вмонтовані прозорі для ОВ вікна 3, відстань між якими L становить довжину траси поширення випромінювання в аерозолі. Фотометрична апаратура включає набір джерел ОВ 4, які випромінюють у різних діапазонах довжин хвиль $\Delta\lambda$, і приймачі випромінювання 5, спектральна чутливість яких також відповідає діапазонам довжин хвиль $\Delta\lambda$.

Рис. 3. Схема обладнання для визначення маскувальної здатності $M_{\Delta\lambda}$:

- 1 – аерозольна камера; 2 – пристрій утворення аерозолі; 3 – вікно; 4 – джерело випромінювання; 5 – приймач випромінювання; 6 – аерозоль
Джерело: розроблено авторами.

Послідовність визначення маскувальної здатності $M_{\Delta\lambda}$ для будь якої АУР, з використанням обладнання, схема якого наведена на рис. 3, наступна:

- до заповнення аерозольної камери аерозолем за допомогою фотометричної апаратури визначається величина $F_{0\Delta\lambda}$;

- навіска АУР масою m переводиться у стан аерозолі, яким заповнюється аерозольна камера,

що має об'єм W . Концентрація C утвореного аерозолі визначається як $C = m / W$;

- за допомогою фотометричної апаратури визначається величина $F_{\Delta\lambda}$;

- з використанням формули (2) для відстані L між прозорими вікнами аерозольної камери визначається величина $\alpha_{\Delta\lambda}$;

- за допомогою формули (7) визначається величина маскувальної здатності $M_{\Delta\lambda}$ досліджуваної АУР.

При необхідності, можна визначити маскувальну масу $MM_{\Delta\lambda}$ досліджуваної АУР за формулою (10), попередньо визначивши порогову оптичну товщину $\tau_{\Delta\lambda, \text{пор}}$ з використанням, наприклад, графічної залежності, наведеної на рис. 1.

Для аерозольного засобу, який споряджений даною АУР, за формулою (11) може бути розрахована величина непрозорості довжини АУ D_n , для чого попередньо необхідно визначити секундний розхід АУР Q , наприклад за приблизною формулою: $Q = m_a / t_a$, де m_a – маса АУР в z , якою споряджений аерозольний засіб; t_a – час аерозолеутворення, z .

Висновки

Розроблено методику визначення маскувальних характеристик аерозолеутворюючих речовин та аерозольних засобів – маскувальної здатності, маскувальної маси та непрозорості довжини аерозольного утворення, які залежать від контрастних характеристик об'єктів, що прикриваються аерозольним утворенням.

Розроблено спосіб визначення маскувальної здатності аерозолеутворюючих речовин, що ґрунтується на одному з положень теорії перенесення оптичного випромінювання у розсіюючих та поглинаючих середовищах, яке полягає у тому, що показник ослаблення аерозолі при його постійному об'ємі пропорційний концентрації цього аерозолі у цьому ж об'ємі, а маскувальна здатність аерозолі, що визначається як відношення показника ослаблення оптичного випромінювання в аерозолі до масової концентрації аерозолі, не залежить від концентрації аерозолі, а залежить тільки від фізико-хімічних характеристик речовини, що використовується для формування аерозольного утворення.

Розроблена методика визначення маскувальних характеристик аерозолеутворюючих речовин та аерозольних засобів і спосіб визначення маскувальної здатності аерозолеутворюючих речовин використовуються фахівцями НВФ “Адрон” (м. Київ, Україна) при тестуванні заново створених аерозолеутворюючих речовин та аерозольних засобів.

Список літератури

1. Загорка О. М., Коваль В. В., Тюрін В. В., Загорка І. О. Застосування аерозольних утворень для захисту військ і об'єктів від ударів літаків тактичної авіації: досвід, сучасний стан та тенденції подальшого розвитку. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2010. № 1(3). С. 170-173.
2. Гишко Г. Б., Ушмаров П. В., Кочанов Э. А., Гутченко А. Г. Опыт применения сил и средств аэрозольного противодействия техническим средствам разведки и поражения противника. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2010. № 1(3). С. 174-179.
3. Галак О. В., Марушенко В. В., Мартинюк І. М. Аерозольна протидія технічним засобам розвідки та ураження противника. Харків : ФВП НТУ "ХПІ", 2011. 100 с.
4. Судаков К. М., Вагонов С. Н., Поляков Е. П. Состояние и перспективы развития аэрозольных средств защиты объектов. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2014. Вып. 12. Ч.2. С. 204-207.
5. Гутченко О. А., Гутченко К. С., Тіхонов І. М., Ушмаров В. П. Розвиток засобів маскувння дій військ та об'єктів із застосуванням аерозолів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 3(16). С. 154-157.
6. Петрушенко М. М., Загорка О. М., Певцов Г. В., Коваль В. В., Кучук Г. А. Застосування аерозольних утворень для захисту військових об'єктів від ударів літаків тактичної авіації: методичний посібник. Вінниця – Харків : Командування Повітряних Сил Збройних Сил України; Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2012. 128 с.
7. Генератор аэрозоля и дымовая пашка для него: пат. РФ на ПМ 74461; опубл. 27.06.2008.
8. Аэрозолеобразующий состав: патент РФ 2326815; опубл. 20.06.2008.
9. Способ определения маскирующих характеристик аэрозолей: пат. РФ 2376583; опубл. 20.12.2009.
10. Дымовые и огнеметно-зажигательные средства / под ред. И. К. Соловьева. Москва : Воениздат, 1951. 308 с.
11. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. Москва : Сов. Радио, 1978. 400 с.
12. Шидловский А. А. Основы пиротехники. Москва : Машиностроение, 1973. 280 с.
13. Зега Э. П., Иванов А. П., Кацаев И. Л. Перенос изображения в рассеивающей среде. Минск : Наука и техника, 1985. 327 с.
14. Писарев А. П., Лазутський А. Ф., Тузіков С. А., Писарев С. А. Аналіз факторів, що впливають на визначення дальності видимості об'єктів крізь аерозольну завісу. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 3(61). С. 18-23. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.03>.
15. Утемов С. В. Методика обоснования требований к оптическим характеристикам аэрозольного образования для прерывания видения цели оператором оптиковизуальной системы. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2009. Т. 5. № 5. С. 128-130.

Надійшла до редколегії 14.06.2021

Схвалена до друку 13.07.2021

Відомості про авторів:

Кравчук Ілля Степанович

кандидат технічних наук доцент
начальник науково-дослідного відділу
ТОВ "НВФ "Адрон",
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1053-7798>

Туренко Сергій Михайлович

кандидат технічних наук доцент
технічний директор – головний конструктор
ТОВ "НВФ "Адрон",
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9399-0941>

Сподін Олександр Іванович

провідний конструктор
ТОВ "НВФ "Адрон",
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9843-1145>

Нікітченко Віктор Іванович

кандидат технічних наук старший дослідник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту випробувань
і сертифікації озброєння та військової техніки,
Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8973-8711>

Information about the authors:

Ilya Kravchuk

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Chief of Scientific Research Department
of Adron Research and Development Co. Ltd.,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1053-7798>

Sergei Turenko

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
CTO-Chief Designer
of Adron Research and Development Co. Ltd.,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9399-0941>

Alexander Spodin

Lead Designer
of Adron Research and Development Co. Ltd.,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9843-1145>

Viktor Nikitchenko

Candidate of Technical Sciences Senior Researcher
Chief of Scientific Research Department
of State Scientific Research Institute of Armament
and Military Equipment Testing and Certification,
Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8973-8711>

Чигрин Роман Миколайович
кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9996-1367>

Roman Chygryn
Candidate of Technical Sciences
Lead Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9996-1367>

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСКИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С УЧЕТОМ КОНТРАСТНОСТИ ПРИКРЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

И.С. Кравчук, С.М. Туренко, С.И. Сподин, В.И. Никитченко, Р.Н. Чигрин

Статья посвящена разработке методики определения маскировочных характеристик аэрозолеобразующих составов и аэрозольных составов с учетом контраста прикрываемых объектов аэрозольными образованиями, при упрощенном подходе к определению массовой концентрации аэрозоля на трассе наблюдения. Данный подход базируется на одном из положений теории переноса оптического излучения в рассеиваемых и поглощающих средах, которое основано на том, что показатель ослабления аэрозоля пропорциональный концентрации этого аэрозоля на пути прохождения излучения. Это означает, что при образовании аэрозоля в постоянном объеме отношение показателя ослабления аэрозоля к массовой концентрации этого аэрозоля не зависит от массовой концентрации, а зависит только от физико-химических характеристик составов, которые используются для формирования аэрозольного образования. Это позволяет, образовав произвольную концентрацию аэрозоля в постоянном объеме и определив показатель ослабления для этой концентрации аэрозоля, определить параметр маскирующего свойства. Измерение показателя ослабления оптического излучения в аэрозоле проводится известными фотометрическими методами. Получены математические зависимости расчетов маскирующей массы и непрозрачной длины аэрозольных образований как функции от маскирующих свойств аэрозольного образования и контраста объекта на подстилающем фоне.

Ключевые слова: аэрозольные образования, маскировочные свойства, маскировочная масса, показатель ослабления излучения, контраст объекта.

METHOD FOR DETERMINING THE MASKING CHARACTERISTICS OF AEROSOL FORMATIONS TAKING INTO ACCOUNT THE CONTRAST OF THE COVERED OBJECTS

I. Kravchuk, S. Turenko, A. Spodin, V. Nikitnenko, R. Chygryn

Analysis of the experience of local wars and armed conflicts in recent decades shows that one of the effective approaches to protecting weapons and military equipment from visual and hardware surveillance, as well as from their destruction by high-precision weapons systems, is the use of aerosol formations. The issue of protection of weapons and military equipment is especially relevant in connection with the widespread use of new intelligence and high-precision weapons guidance systems with information channels, the spectral sensitivity of which can be in any of the ranges of optical radiation.

Article subject is development of a technique for definition of masking characteristics of creating aerosol substances and aerosol tools. The technique considers contrast of objects, which are protected with aerosol cloud and realizes the simplified approach to determination of aerosol mass concentration on the route of observation. Such approach is based on the theory of optical radiation transfer in disseminating and absorbing mediums. According to this theory, aerosol attenuation index is proportional to aerosol concentration on the way of radiation. From this statement follows that in case of constant volume of aerosol, the aerosol attenuation index/mass concentration ratio does not depend on aerosol mass concentration, but depends only on physical and chemical characteristics of creating aerosol substances. Thus, in case of aerosol arbitrary concentration in constant volume, knowing this aerosol attenuation index, it is possible to determine of aerosol masking characteristic. Measurement of aerosol attenuation index for passing aerosol optical radiation is carried out with well-known photometric methods. In the article are received mathematical dependences for masking mass calculation, as well as for aerosol cloud opaque distance as function of masking ability and of object-to-background contrast.

The developed method of determining the masking characteristics of aerosol-forming substances and aerosol means and the method of determining the masking ability of aerosol-forming substances are used by specialists in testing newly created aerosol-forming substances and aerosol means.

Keywords: aerosol formations, masking characteristic, masking mass, passing aerosol optical radiation, object-to-background contrast.