

І. С. Мещеряков, А. А. Нікітін, І. О. Капля, А. В. Залізко, С. П. Буряк

МОДЕЛЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ АЕРОЗОЛЬНОГО МАСКУВАННЯ В ОБОРОНІ ЗА СТАНДАРТАМИ НАТО

У статті розглянуто актуальну проблему формалізації процесів застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні відповідно до стандартів НАТО. Вихідні керівні документи, що регламентують використання аерозольних засобів, визначають загальні принципи, однак їх практична реалізація в умовах бойових дій потребує високого ступеня узгодженості дій під час аерозольного маскування. Ефективне застосування аерозольного маскування є критичним елементом збереження бойової спроможності підрозділів в умовах сучасної високоточної зброї та розвинених засобів розвідки, спостереження й цілевизначення противника.

Метою дослідження є розроблення моделі застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні за стандартами НАТО, яка забезпечує наукове обґрунтування процесів планування, управління та контролю за ефективністю маскувальних заходів у бойових умовах. Вона відповідає принципам стандартизації НАТО, передбачає інтеграцію в автоматизовані системи управління військами та може бути використана під час планування оборонних дій.

Розроблений підхід дозволяє формалізувати процес прийняття рішення щодо моменту активації завіси, її тривалості, інтенсивності та оптимального розподілу засобів аерозольного маскування на місцевості. Важливо, що модель враховує мультиспектральну природу сучасних засобів розвідки противника, а також вимоги до забезпечення прихованості маневру та зниження інформаційної доступності позицій оборони.

Практичний результат дослідження полягає в отриманні алгоритму керування засобами аерозольного маскування, придатного до автоматизації та впровадження в сучасні системи бойового управління. Запропонована модель підвищує ефективність оборонних дій завдяки можливості прогнозувати щільність аерозольної завіси, оцінювати очікувані втрати щільності внаслідок зміни метеоумов, здійснювати адаптивну корекцію продуктивності.

Отже, результати дослідження створюють наукове обґрунтування процесів планування, управління й контролю за ефективністю маскувальних заходів у бойових умовах. Запропонована модель відповідає принципам стандартизації НАТО, передбачає інтеграцію в автоматизовані системи управління військами та може бути використана під час планування оборонних дій.

Ключові слова: оборона; аерозольне маскування; аерозольна протидія; димові засоби; тактика; модель; ризик; захист; ефективність.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Виходячи з чинних керівних документів щодо застосування підрозділів аерозольного маскування за стандартами

© І. С. Мещеряков, А. А. Нікітін, І. О. Капля, А. В. Залізко, С. П. Буряк, 2025

НАТО [1, 2], можна стверджувати, що на сьогодні є потреба в узгодженості дій під час сумісних навчань або бойових дій [3]. Для більшого розуміння їх значущості запропоновано побудувати відповідну модель застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні (далі – Модель оборони), метою створення якої можна визначити оптимізацію процесів аерозольного маскування в обороні [3, 4].

Оборонні операції дозволяють утримати позиції, виграти час, позбавити противника доступу до місцевості та завдати шкоди або розгромити його сили наступу [3, 13]. Застосування аерозольного маскування збільшує можливості командира зривати атаки противника, перехоплювати ініціативу та спрямовувати всю свою бойову потужність у потрібний момент й у визначеному місці для здобуття перемоги [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій [5–12] свідчить, що аерозольне маскування забезпечує підтримку для будь-якого типу оборонної операції. У разі правильного використання аерозольне маскування нівелює будь-яку початкову перевагу противника. Інтегроване у всій оборонній структурі, воно суттєво порушує синхронізацію противника, створюючи вікна можливостей для наших військ перехопити ініціативу та встановити умови бою [3, 14].

Основне завдання аерозольного маскування під час оборони полягає в тому, щоб перешкодити роботі засобам цілевизначення і розвідки противника [14, 15], а також приховати маневрені сили і сили підтримки [1]. Наша мета – позбавити противника інформації про дислокацію та склад наших сил, що дозволить нам виграти час, зосередити сили в іншому місці, контролювати ключові та інші важливі ділянки місцевості й виснажити сили противника на етапі підготовки до наступальних операцій.

Не вирішені раніше частини загальної проблеми, яким присвячено статтю:

наявні підходи до застосування засобів аерозольного маскування мають емпіричний або частково регламентований характер, без чіткої математичної моделі управління;

відсутність єдиної моделі не дозволяє формалізувати процес прийняття рішень, оцінити ефективність маскування в реальному часі та автоматизувати управління.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розроблення формалізованої моделі застосування підрозділів аерозольного маскування за стандартами НАТО, яка передбачає інтеграцію оцінки ризику, метеофакторів, ресурсного стану генераторів та оперативної потреби у створенні аерозольної завіси. Модель розглядається як керована адаптивна система, що функціонує на основі порогових значень ризику та алгоритмічного вибору режиму маскування. Запропоновано структурований підхід до опису системи через простір станів, керуючу функцію та динамічні рівняння, що відображають зміну ресурсів і параметрів аерозольної хмари. Наведено математичні залежності, які визначають продуктивність генераторів відповідно до швидкості вітру, запасу ресурсів та необхідного рівня маскування, а також алгоритм роботи системи в циклі реального часу.

Виклад основного матеріалу. Виходячи із загальних положень застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні за стандартами НАТО [1, 3] Модель оборони розглядаємо як керовану систему з адаптивним порогом активації, де головна мета – максимізація часу маскування (t_{min}) за мінімізації вартості (Q_{cost}) [16].

Система постійно обробляє вхідний вектор загрози, який визначає необхідність застосування підрозділів аерозольного маскування:

$$V = \{R(E), M_u, T_{\text{запас}}\}, \quad (1)$$

де $R(E)$ – ризик, інтегральна оцінка загрози від мультиспектральних засобів (w_1, w_2, w_3) . Якщо $R(E) > R_{\text{активації}}$ (наприклад, 0,4), то потрібна активація;

M_u – вітер, його швидкість і напрямок. Якщо $M_u > M_u^{\text{крит}}$ ($M_u > 15$) км/год, то ефективність зависить критично знижується, тому потрібний перехід на артилерію;

$T_{\text{запас}}$ – запас палива / суміші в генераторах. Якщо $T_{\text{запас}}^{\text{мін}} < 2$ год роботи, то система обмежує тривалість маскування.

Система завжди перемикається на найвищий необхідний режим і повертається до пасивної готовності лише після того, як $R(E)$ тримається нижче 0,4 протягом $T_{\text{очищення}}$ (час, необхідний для повного розсіювання аерозолі).

Вибір операційного режиму генераторів є функцією ризику $R(E)$ та критичності маскувальної цілі [16].

Під час оборони витрати мають критичне значення, тому вводимо індекс ефективності ресурсів $I_{\text{ресурс}}$:

$$I_{\text{ресурс}} = \frac{T_{\text{досягнутий}}}{T_{\text{запланованій}}} \frac{Q_{\text{запланованій}}}{Q_{\text{фактичний}}} K_{\text{вартість}}, \quad (2)$$

де $\frac{T_{\text{досягнутий}}}{T_{\text{запланованій}}}$ – наскільки точно генератор виконав завдання в часі;

$\frac{Q_{\text{запланованій}}}{Q_{\text{фактичний}}}$ – наскільки ефективно була витрачена мультиспектральна суміш;

$K_{\text{вартість}}$ – ваговий коефіцієнт, якщо в режимі 4 (антиудар) ціль була врятована, то $K_{\text{вартість}}$ може бути ≥ 1 , що підвищує загальну оцінку ефективності.

Якщо $I_{\text{ресурс}}$ падає нижче 0,7, то система сигналізує про необхідність технічного обслуговування генераторів або переоцінювання їхнього розміщення (це означає, що вітер постійно зносить аерозоль) [17].

Модель застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні – це не просто команда «Пуск», а динамічний наказ, який постійно оновлюється [18]:

$$D = \{R_{\text{координати}}, R_{\text{продуктивність}}, R_{\text{тривалість}}\}, \quad (3)$$

Стійкість системи ґрунтується на постійному виконанні заходів і зворотному зв'язку: метеомоніторинг, за якого система отримує дані про M_u кожні 15 хв;

дронів перевірка щільності аерозольної завіси, коли крізь мультиспектральну аерозольну завісу за допомогою бортових тепловізорів запускають безпілотні літальні апарати (БПЛА) (невеликі квадрокоптери) для моніторингу $C_{\text{крит}}^{\text{Тепловий}}$ [14, 16, 19];

адаптація продуктивності: якщо M_u зростає, то система автоматично збільшує $R_{\text{продуктивність}}$ (потік аерозолеутворювальних речовин (АУР)) для компенсації розсіювання (залишаючись у межах обраного режиму) [20]; якщо $C_{\text{крит}}^{\text{Тепловий}}$ досягнуто, система може тимчасово знизити $R_{\text{продуктивність}}$ для економії [16], доки $R(E)$ залишається високим.

Модель оборони перетворює застосування генераторів в обороні на саморегульовану, економічно обґрунтовану і високотехнологічну операцію, що забезпечує підвищення живучості військам із застосуванням аерозолів тривалий час [3, 16].

Формалізацію Моделі в обороні проводимо шляхом її описування за допомогою простору станів та керуючої функції.

Простір станів системи (S) можна уявити як їх сукупність у момент часу t як вектор ключових змінних, що описують і наші ресурси, і загрозу:

$$S(t) = \{R(E)_t, M_{u,t}, Q_{\text{res},t}, C_{\text{tar},t}\}, \quad (4)$$

де $R(E)_t$ – інтегральна оцінка ризику від мультиспектральних загроз, (0,1);

$M_{u,t}$ – швидкість вітру (ключовий фактор розсіювання), м/с;

$Q_{\text{res},t}$ – залишковий ресурс (паливо / суміш) у всіх генераторах, години роботи;

$C_{\text{tar},t}$ – фактична щільність аерозолів на цілі (моніторинг БПЛА), $C_{\text{крит}}^{\text{Тепловий}}$.

Керуюча функція Φ визначає вибір режиму роботи D_t та продуктивність генераторів P_t на основі поточного стану $S(t)$ [16, 18]:

$$\Phi: S(t) \rightarrow \{D_t, P_t\}, \quad (5)$$

де D_t – функція вибору режиму;

P_t – функція продуктивності генераторів.

Вибір режиму роботи $D_t \in \{1, 2, 3, 4\}$ здійснюється за допомогою порогової функції від ризику:

$$D_t = \begin{cases} 4, \text{ якщо } R(E)_t \geq R_{\text{max}} (\text{аниудар}); \\ 3, \text{ якщо } R_{\text{med}} \leq R(E)_t < R_{\text{max}} (\text{динамічнеосліплення}); \\ 2, \text{ якщо } R_{\text{min}} \leq R(E)_t < R_{\text{med}} (\text{економічнемаскування}); \\ 1, \text{ якщо } R(E)_t < R_{\text{min}} (\text{пасивнаготовність}), \end{cases} \quad (6)$$

де $R_{\text{max}} = 0,8$; $R_{\text{med}} = 0,6$; $R_{\text{min}} = 0,4$ – приклади порогових значень [21].

Функція продуктивності генераторів (P_t) (витрата суміші на генератор за одиницю часу) є адаптивною і залежить від обраного режиму, вітру [17] та запасу ресурсів [2]:

$$P_t = P_{base}(D_t) K_u K_{res}, \quad (7)$$

де $P_{base}(D_t)$ – базова продуктивність. Фіксована витрата для досягнення цільового C_{krit} у цьому режимі (наприклад, $P_{base}(4) = 5$ кг/хв, $P_{base}(2) = 2$ кг/хв);

K_u – коефіцієнт корекції вітру (адаптація), який компенсує розсіювання аерозолі через вітер:

$$K_u = 1 + \max\left(0, \frac{M_{u,t} - M_{u,base}}{M_{u,base}}\right). \quad (8)$$

Якщо вітер сильніший за базовий ($M_{u,base}$), то витрата збільшується пропорційно [17].

K_{res} – коефіцієнт обмеження ресурсу (захист), який запобігає повній витраті ресурсу, якщо $T_{зпас}$ критично малий, а саме:

$$K_{res} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Q_{res,t} \geq Q_{res}^{min}; \\ 0,5, & \text{якщо } Q_{res,t} < Q_{res}^{min} \text{ (обмеження продуктивності)}. \end{cases} \quad (9)$$

Стан системи динамічний, постійно змінюється (оновлюється) завдяки зворотному зв'язку та фізичним процесам [17, 20].

Динаміка залишкового ресурсу ($Q_{res,t+1}$) полягає в його зменшенні відповідно до загальної продуктивності всіх генераторів ($N_{ген} P_t$):

$$Q_{res,t+1} = Q_{res,t} - (N_{ген} P_t \Delta t). \quad (10)$$

Динаміка фактичної щільності аерозольної хмари на цілі ($C_{tar,t+1}$) свідчить про її залежність від генерації, розсіювання та вітру [17, 20], це коло зворотного зв'язку [16]:

$$C_{tar,t+1} = C_{tar,t} + G(P_t) - L(C_{tar,t}, M_{u,t}) + \varepsilon_t, \quad (11)$$

де $G(P_t)$ – функція, що описує приріст щільності від продуктивності P_t (генерація);

$L(C_{tar,t}, M_{u,t})$ – функція, що описує втрати щільності, яка прямо пропорційна C_{tar} та швидкості вітру M_u (наприклад, $L \propto C_{tar} M_u$).

Така формалізація перетворює тактичні правила на систему диференціальних (або різницевих) рівнянь, які можна вирішувати за допомогою комп'ютерних симуляцій [10]. Вона дозволяє штабу не просто «запускати аерозоль», а математично обґрунтовувати кожен кілограм мультиспектрального аерозолі [22].

Сформулюємо чіткий, покроковий алгоритм керування генераторами в обороні на основі нашої формалізованої Моделі в обороні [16]. Цей алгоритм є керуючою функцією Φ [18], яка виконується в штабі з фіксованим часовим кроком (наприклад, кожні 5 хв).

Алгоритм керування генераторами аерозолію в обороні

1. Ініціалізація ($T = 0$):

встановити порогові показники, визначити значення R_{max} , R_{med} , R_{min} та Q_{res}^{min} (критичний запас палива);

розгорнути генератори: розмістити N_{gen} генераторів у запланованих точках $R_{координати}$ та ввести їхні початкові $Q_{res,0}$ у систему.

2. Цикл керування (кожні Δt хв)

Крок 1. Збір та оновлення стану ($S(t)$), коли система отримує актуальні дані:

розвідка ($R(E)$) – оцінка $R(E)_t$ на основі звітів розвідки (аналіз польотів БПЛА, активності тепловізорів ворога);

метеодані (M_u) – отримання поточної швидкості вітру $M_{u,t}$;

логістика (Q_{res}) – оновлення $Q_{res,t}$ на основі даних із датчиків генераторів;

моніторинг (C_{tar}) – отримання $C_{tar,t}$ (фактична щільність аерозолію) із дронавої розвідки.

Крок 2. Визначення режиму та продуктивності, коли система обчислює необхідний режим та потужність:

вибір режиму (D_t). Для визначення одного з чотирьох режимів аерозольного маскування застосовується порогова функція

$$D_t = \Phi_{режим}(R(E)_t); \quad (12)$$

обмеження ресурсу K_{res} . Система автоматично знижує K_{res} до 0,5 (або 0,3) незалежно від $R(E)$, якщо $Q_{res,t} < Q_{res}^{min}$;

корекція вітру K_u . Для компенсації розсіювання аерозолію розраховується K_u ;

розрахунок необхідної продуктивності (P_t) здійснюється з урахуванням усіх факторів.

Крок 3. Рішення на початок аерозольного маскування є вихідним вектором D , коли надходить команда на початок аерозольного маскування [18]:

надходження команди. Для кожного генератора j : «Почати маскування» або «Підтримувати маскування» з новою швидкістю потоку, що відповідає P_t . Якщо $D_t = 1$ (пасивна готовність), надходить команда: «Припинити маскування»;

перевірка критичного вітру. Негайна команда «Припинити маскування» і перейти до резервного плану (наприклад, вогонь димовими снарядами), якщо $M_{u,t} > M_u^{крит}$ (наприклад, 15 м/с).

Крок 4. Зворотний зв'язок та адаптація, коли здійснюється контроль щільності (C_{tar}):

порівнюється фактична щільність $C_{tar,t}$ із цільовим $C_{крит}(D_t)$ для поточного режиму. Якщо $C_{tar,t}$ занадто низький, незважаючи на високу P_t , система ініціює команду «Переоцінка розміщення» або «Технічне обслуговування» генераторів;

здійснюється логістична сигналізація, коли система видає пріоритетну команду на поповнення палива / АУР, якщо Q_{rest} наближається до Q_{res}^{min} .

Висновки. На основі проведеного дослідження, спрямованого на формалізацію та оптимізацію тактики застосування підрозділів аерозольного маскування Збройних Сил України відповідно до стандартів НАТО, досягнуто значних результатів інтеграції військової тактики з методами прикладного математичного моделювання.

Розроблена алгоритмічна імітаційна модель застосування підрозділів аерозольного маскування в обороні забезпечує двоконтурну оптимізацію оборонних дій:

ресурсний контур – кількісний розрахунок потреби в біспектральних АУР для виконання функцій маскування власних позицій та осліплення противника;

організаційний контур – оцінювання ймовірності організаційного провалу для синхронізації аерозольного маскування із критичним часом оборонного маневру (наприклад, відбиття контратаки, відхід).

Використання розробленої моделі дозволить оптимізувати логістику та раціонально розподіляти дорогі біспектральні засоби на найважливіші ділянки ведення бойових дій, уникаючи перевитрати. Пряме використання критерію оперативності в ході бою гарантує, що застосування аерозольних завіс буде своєчасним і достатнім для захисту маневрених сил від розвідувально-ударних комплексів противника.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Allied Joint Publication (AJP) 3.15. Allied Joint Doctrine for Countering Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Threats. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), February 2018. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/686715/doctrine_nato_countering_ied_ajp_3_15.pdf (last accessed: 20.11.2025).
2. Allied Joint Publication (AJP) 3.20. Allied Joint Doctrine for Force Protection. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), January 2020. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f086ec4d3bf7f2bef137675/doctrine_nato_cyberspace_operations_ajp_3_20_1_.pdf (last accessed: 20.11.2025).
3. STANAG 4107. Mutual Acceptance of Government Quality Assurance and Usage of NATO Quality Assurance Publications. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), November 9, 2018. URL: <https://ru.scribd.com/document/654191405/Aqap-4107-Eng-en-Data> (last accessed: 12.11.2025).
4. PAA Analysis in Severely Restricted Terrain. Kansas : Center for Army Lessons Learned. January 2024. № 24–846. URL: <https://api.army.mil/e2/c/downloads/2024/01/25/a8b49a1b/24-846-paa-analysis-jan-22-public.pdf> (last accessed: 20.11.2025).
5. Мещеряков І. С. Удосконалена методика оцінювання ефективності посилення захисту військ із застосуванням аерозолів // Труди університету. 2023. № 1 (176). С. 50–65.
6. Порівняльний аналіз засобів аерозольного маскування, які знаходяться на озброєнні у Збройних Силах України та армій західних країн-партнерів / І. Танцюра, О. Клімов, О. Стаховський, С. Гузенко // Військово-технічний збірник. 2024. № 30. С. 8–13. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.30.2024.8-13>

7. Аналіз факторів, що впливають на визначення дальності видимості об'єктів крізь аерозольну завісу / А. В. Писарєв, А. Ф. Лазутський, С. А. Тузіков, С. А. Писарєв // 36. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. 2019. № 3 (61). С. 18–23. URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhaps/issue/archive/2> (дата звернення: 10.11.2025).
8. Аналіз засобів аерозольної протидії Сухопутних військ Збройних Сил України / К. В. Коритченко, І. І. Танцюра, О. П. Клімов, О. В. Стаховський // Механіка та машинобудування. Харків : НТУ “ХПІ”, 2021. № 2. С. 26–30.
9. Розробка напівавтоматичної системи аерозольного маскування для не спеціалізованого військового та евакуаційного транспорту / С. С. Некрасов, А. Ю. Довгополов, В. О. Колесник та ін. // Методи та прилади контролю якості. 2024. № 2 (53). С. 94–104. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2024-2\(53\)-94-104](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2024-2(53)-94-104)
10. Пасічник В. Аерозольне маскування: як військові використовують “димові завіси” на фронті. Гвара Медіа. 2025. <https://gwaramedia.com/aerazolne-maskuvannya-yak-vijskovi-vikoristovuyut-dimovi-zavisi-na-fronti/> (дата звернення: 10.11.2025).
11. Маскування військ та об'єктів. Захист від високоточної зброї : навч. посіб. / В. В. Пугач, В. П. Чепурний, А. І. Куртов та ін. Харків : БЮІ НІОУ ім. Ярослава Мудрого, 2022. 116 с. https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/maskuvannia_viisk.pdf (дата звернення: 10.11.2025).
12. Порядок використання засобів аерозольного маскування // Sprotyv G7. URL: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/poryadok-vikoristannya-zasobiv-aerazolnogo-maskuvannya> (дата звернення: 12.11.2025).
13. Procedure to Optimize the Effectiveness of Man-made Smoke Screens for Fixed Installations : AGARD-CP-542. Neuilly-sur-Seine : NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD), May 1993. URL: <https://publications.sto.nato.int/publications/AGARD/AGARD-CP-542/CP-542-25.pdf> (дата звернення: 08.11.2025).
14. STANREC 4567 (AEP-41 VOL 4). Unified Electromagnetic Environmental Effects (UE3) Susceptibility of Platforms, Systems & Equipment to E3. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), 2014. URL: <https://edstar.eda.europa.eu/Standards/Details/7f78e0bc-d49e-4434-9032-1c6697f920ad> (last accessed: 02.11.2025).
15. Kriebel D. P. Screening of New Military Materials for Toxicity and Environmental Harm. CEOBS. 2014. URL: <https://ceobs.org/screening-of-new-military-materials-for-toxicity-and-environmental-harm/> (last accessed: 12.11.2025).
16. Аналіз використання аерозольних (димових) засобів у сучасних бойових діях / С. С. Брянкін, Г. П. Озеран, О. В. Скиба та ін. // 36. наук. праць Держ. наук.-дослід. ін-ту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2024. № 4 (22). С. 14–22. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.22.2024.02>
17. AArtyP-5. NATO Fire Support Doctrine : STANAG 2484. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), November 2015. URL: <https://www.revista-artilharia.pt/admin/upload/ficheiros/ficheirosMultimedia/aartyp-5-nato-fire-support-doctrine-stanag-2484-ed3-nov15.pdf> (last accessed: 20.11.2025).

18. Command and Staff Organization and Operations : Field Manual FM 6-0. Washington : Department of the Army, May 16, 2022. 224 p. URL: https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/2DDE6089-23E5-4345-8E9E-7BCD5BDF45C8-1399555122246/fm6_0.pdf (last accessed: 20.11.2025).
19. Pre-release: Methods of Identifying and Evaluation the Camouflage and Deceptive Properties of the Military Equipment in Land Field Trials. Brussels : NATO Science and Technology Organization (STO), July 17, 2025. URL: <https://www.sto.nato.int/document-tag/camouflage/> (last accessed: 20.11.2025).
20. AAP-15. NATO Glossary of Abbreviations Used in NATO Documents and Publications. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), February 27, 2013. URL: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other_Pubs/aap15.pdf (last accessed: 20.11.2025).
21. Smoke Operations : Field Manual FM 3-50. Washington : Department of the Army, September 11, 1996. 104 p. URL: <https://archive.org/details/fm-3-50-smoke-operations-1990/page/n1/mode/2up> (last accessed: 20.11.2025).
22. AEP-97. Multi-Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition. Ed. A, Version 1. Brussels : NATO Standardization Office (NSO), October 8, 2020. URL: <https://diweb.hq.nato.int/naag/Public%20Release%20Documents/AEP-97%20EDA%20V1%20E.pdf> (last accessed: 20.11.2025).

Стаття надійшла до редакції 26.11.2025.

REFERENCES

1. *Allied Joint Publication (AJP) 3.15. Allied Joint Doctrine for Countering Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Threats.* (2018, February). NATO Standardization Office. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/686715/doctrine_nato_countering_ied_ajp_3_15.pdf
2. *Allied Joint Publication (AJP) 3.20. Allied joint doctrine for force protection.* (2020, January). NATO Standardization Office. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f086ec4d3bf7f2bef137675/doctrine_nato_cyberspace_operations_ajp_3_20_1_.pdf
3. *STANAG 4107.* (2018, November 9). *Mutual Acceptance of Government Quality Assurance and Usage of NATO Quality Assurance Publications.* NATO Standardization Office. Retrieved from <https://ru.scribd.com/document/654191405/Aqap-4107-Eng-en-Data>
4. *PAA Analysis in Severely Restricted Terrain.* (2024, January). Kansa : Center for Army Lessons Learned. No. 24-846. Retrieved from <https://api.army.mil/e2/c/downloads/2024/01/25/a8b49a1b/24-846-paa-analysis-jan-22-public.pdf>
5. Meshcheriakov, I. S. (2023). Udoskonalena metodyka otsiniuvannia efektyvnosti posylennia zakhystu viisk iz zastosuvanniam aeropoliv [Improved Methodology for Assessing the Effectiveness of Strengthening the Protection of Troops Using Aerosols]. *Trudy universytetu [University Proceedings]*, 1 (176), 50–65. Kyiv [in Ukrainian].
6. Tantsiura, I., Klimov, O., Stakhovskyi, O., & Huzenko, S. (2024). Porivnialnyi analiz zasobiv aeropolnoho maskuvannia, yaki znakhodiatsia na ozbroienni u Zbroinykh Sylakh Ukrainy ta

armii zakhidnykh krain-partneriv [Comparative Analysis of Aerosol Camouflage Means in Service with the Armed Forces of Ukraine and the Armies of Western Partner Countries]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk [Military-Technical Collection]*, 30, 8–13. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.30.2024.8-13> [in Ukrainian].

7. Pysariev, A. V., Lazutskyi, A. F., Tuzikov, S. A., & Pysariev, S. A. (2019). Analiz faktoriv, shcho vplyvaiut na vyznachennia dalnosti vydymosti ob'ektiv kriz aerzolnu zavisu [Analysis of Factors Affecting the Determination of the Visibility Range of Objects Through an Aerosol Curtain]. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Collection of Scientific Works of the Kharkiv National University of the Air Force]*, 3 (61), 18–23. Kharkiv. Retrieved from <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/issue/archive/2> [in Ukrainian].

8. Korytchenko, K. V., Tantsiura, I. I., Klimov, O. P., & Stakhovskyi, O. V. (2021). Analiz zasobiv aerzolnoi protydii Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy [Analysis of Aerosol Countermeasures of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine]. *Mekhanika ta mashynobuduvannia [Mechanics and Mechanical Engineering]*, 2, 26–30. Kharkiv [in Ukrainian].

9. Nekrasov, S. S., Dovhopolov, A. Yu., & Kolesnyk, V. O., et al (2024). Rozrobka napivavtomatychnoi systemy aerzolnoho maskuvannia dlia ne spetsializovanoho viiskovoho ta evakuatsiinoho transportu [Development of a Semi-Automatic Aerosol Masking System for Non-Specialized Military and Evacuation Transport]. *Metody ta Prylady Kontroliu Yakosti [Methods and Devices for Quality Control]*, 2 (53), 94–104. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2024-2\(53\)-94-104](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2024-2(53)-94-104) [in Ukrainian].

10. Pasichnyk, V. (2025). Aerzolne maskuvannia: yak viiskovi vykorystovuiut “dymovi zavisy” na fronti [Aerosol Camouflage: How the Military Uses “Smoke Screens” on the Front]. *Gvara Media*. Retrieved from <https://gwaramedia.com/aerzolne-maskuvannya-yak-vijskovi-vikoristovuyut-dimovi-zavisi-na-fronti/> [in Ukrainian].

11. Puhach, V. V., Chepurnyi, V. P., & Kurtov, A. I., et al. (2022). *Maskuvannia viisk ta ob'ektiv. Zakhyst vid vysokotochnoi zbroi: navch. posib. [Camouflage of Troops and Objects. Protection Against High-Precision Weapons: training manual]*. Kharkiv. Retrieved from https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/maskuvannia_viisk.pdf [in Ukrainian].

12. Poriadok vykorystannia zasobiv aerzolnoho maskuvannia [Procedure for Using Aerosol Masking Agents]. *Sprotyv G7 [Resistance G7]*. Retrieved from <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/poryadok-vikoristannya-zasobiv-aerzolnogo-maskuvannya> [in Ukrainian].

13. *Procedure to Optimize the Effectiveness of Man-made Smoke Screens for Fixed Installations: AGARD-CP-542*. (May, 1993). Neuilly-sur-Seine: NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD). Retrieved from <https://publications.sto.nato.int/publications/AGARD/AGARD-CP-542/CP-542-25.pdf>

14. *STANREC 4567 (AEP-41 VOL 4). Unified Electromagnetic Environmental Effects (UE3). Susceptibility of Platforms, Systems & Equipment to E3*. (2014). Brussels: NATO Standardization Office (NSO). Retrieved from <https://edstar.eda.europa.eu/Standards/Details/7f78e0bc-d49e-4434-9032-1c6697f920ad>

15. Kriebel, D. P. (2014). *Screening of New Military Materials for Toxicity and Environmental Harm*. CEOBS. Retrieved from <https://ceobs.org/screening-of-new-military-materials-for-toxicity-and-environmental-harm/>
16. Briankin, S. S., Ozeran, H. P., & Skyba, O. V., et al. (2024). Analiz vykorystannia aerosolnykh (dymovykh) zasobiv u suchasnykh boiovykh diiakh [Analysis of the Use of Aerosol (Smoke) Agents in Modern Combat Operations]. *Zb. nauk. prats Derzh. nauk.-doslid. in-tu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky* [Collection of Scientific Works of the State Research Institute for Testing and Certification of Armaments and Military Equipment], 4 (22), 14–22. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.22.2024.02> [in Ukrainian].
17. AArtyP-5. *NATO Fire Support Doctrine: STANAG 2484*. (November 2015). Brussels : NATO Standardization Office (NSO). Retrieved from <https://www.revista-artilharia.pt/admin/upload/ficheiros/ficheirosMultimedia/aartyp-5-nato-fire-support-doctrine-stanag-2484-ed3-nov15.pdf>
18. *Command and Staff Organization and Operations: Field Manual FM 6-0*. (May 16, 2022). Washington: Department of the Army. Retrieved from https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/2DDE6089-23E5-4345-8E9E-7BCD5BDF45C8-1399555122246/fm6_0.pdf
19. *Pre-release: Methods of Identifying and Evaluation the Camouflage and Deceptive Properties of the Military Equipment in Land Field Trials*. (July 17, 2025). Brussels: NATO Science and Technology Organization (STO). Retrieved from <https://www.sto.nato.int/document-tag/camouflage/>
20. AAP-15. *NATO Glossary of Abbreviations Used in NATO Documents and Publications*. (February 27, 2013). Brussels: NATO Standardization Office (NSO). Retrieved from https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/Other_Pubs/aap15.pdf
21. *Smoke Operations: Field Manual FM 3-50*. (September 11, 1996). Washington: Department of the Army. Retrieved from <https://archive.org/details/fm-3-50-smoke-operations-1990/page/n1/mode/2up>
22. AEP-97. *Multi-Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition*. Ed. A, Version 1. (October 8, 2020). Brussels: NATO Standardization Office (NSO). Retrieved from <https://diweb.hq.nato.int/naag/Public%20Release%20Documents/AEP-97%20EDA%20V1%20E.pdf>

I. S. Meshcheriakov, A. A. Nikitin, I. O. Kaplia, A. V. Zalizko, S. P. Buriak

MODEL OF APPLICATION OF AEROSOL CAMOUFLAGE UNITS IN DEFENSE ACCORDING TO NATO STANDARDS

The article considers the current problem of formalizing the processes of using aerosol camouflage units in defense in accordance with NATO standards. The initial guiding documents regulating the use of aerosol means define general principles, however, their practical implementation in combat conditions requires a high degree of coordination of actions during aerosol camouflage. The effective use of aerosol camouflage is a critical element of maintaining the combat capability of units in conditions of modern high-precision weapons and advanced enemy reconnaissance, surveillance and target designation.

The purpose of the study is to develop a model of using aerosol camouflage units in defense

according to NATO standards, which provides scientific substantiation of the processes of planning, management and control over the effectiveness of camouflage measures in combat conditions. It complies with NATO standardization principles, provides for integration into automated troop control systems, and can be used when planning defense actions.

The developed approach allows to formalize the decision-making process regarding the moment of curtain activation, its duration, intensity and optimal distribution of aerosol camouflage means on the terrain. It is important that the model takes into account the multispectral nature of modern enemy reconnaissance means, as well as the requirements for ensuring maneuver concealment and reducing the information availability of defense positions.

The practical result of the research is to obtain an algorithm for controlling aerosol camouflage means, suitable for automation and implementation in modern combat control systems. The proposed model increases the effectiveness of defensive actions due to the ability to predict the density of the aerosol curtain, assess the expected density losses due to changes in weather conditions, and carry out adaptive correction of performance.

Thus, the results of the research create a scientific justification for the processes of planning, management and control over the effectiveness of camouflage measures in combat conditions. It complies with the principles of NATO standardization, provides for integration into automated troop control systems, and can be used when planning defensive actions.

Keywords: *defense; aerosol camouflage; aerosol countermeasures; smoke agents; tactics; model; risk; protection; effectiveness.*