

УДК 623.1



К. В. Коритченко



О. П. Клімов



І. В. Цебрюк



А. М. Касімов

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАСКУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУЛЬБАШКОВОЇ ЗАВІСИ У ІНФРАЧЕРВОМУ ДІАПАЗОНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ

У статті подано результати експериментального дослідження маскувальних властивостей бульбашкової завіси у інфрачервоному діапазоні випромінювання. Виявлення маскувального ефекту бульбашок здійснювалось за якісними та кількісними вимірюваннями. За результатами досліджень виявлено послаблення випромінювання бульбашковою завісою у діапазонах від 0,4 мкм до 1,7 мкм, від 3 мкм до 5 мкм та від 7,5 мкм до 13,5 мкм.

К л ю ч о в і с л о в а : маскувальні властивості, бульбашкова завіса, інфрачервоне випромінювання, показник послаблення оптичного випромінювання.

Постановка проблеми. У сучасній війні живучість військ залежить не тільки від здатності ефективно протистояти противнику, застосовуючи озброєння, а й від уміння маскуватися, використовуючи різноманітні способи. Перш за все це зумовлене появою нових засобів розвідки й спостереження і зразків високоточної керованої зброї, що ускладнює введення противника в оману, а також зменшення своїх втрат у бойовій техніці та особовому складі у разі її застосування.

Для маскування техніки та військ застосовують штучні аерозолі зі спеціальних аерозолеутворюючих речовин (АУР). У працях [1 – 5] зазначається, що АУР, які є у Збройних Силах України, мають високі маскуючі властивості лише в ультрафіолетовому, видимому і ближньому інфрачервоному спектрах (від 0,2 мкм до 1,5 мкм) електромагнітного випромінювання. Завдяки збільшенню концентрації АУР у 1,5–2 рази область маскування розширюється до 6 мкм [4]. Це свідчить про те, що розглянуті АУР не відповідають сучасним вимогам щодо забезпечення маскування, зокрема у дальньому інфрачервоному спектрі випромінювання (від 8 мкм до 14 мкм). Тобто такі завіси оптично прозорі для тепловізорів. Тому науково-технічна задача розроблення складу завіси, що забезпечуватиме маскування від ультрафіолетового до інфрачервоного діапазонів випромінювання, матиме низьку швидкість осадження, не токсична і екологічно чиста, яка матиме низьку вартість, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аерозольне маскування броньованих об'єктів може бути здійснено термодимовою апаратурою (ТДА) танків та БМП, а також системою «902» об'єктів, що здійснює пуск димових гранат. При цьому необхідно враховувати, що ТДА танків та БМП можна застосовувати тільки в крайніх випадках, що пояснюється зниженням запасу ходу бойових машин через витрати палива для утворення аерозолі. Зокрема для встановлення аерозольної завіси на 10 хв необхідно витратити близько 100 л пального [2, 6 – 10].

Маскувальні властивості димових гранат до системи «902» дозволяють залежно від типу здійснити маскування як у видимому, так і у інфрачервоному діапазонах випромінювання (у разі оснащення відповідними димовими гранатами). Але його короткочасність не дозволяє здійснити маскування тривалого маневру.

Для маскування об'єктів на тривалий час застосовують пінополіуретанове покриття. Воно забезпечує маскування у інфрачервоному діапазоні і має переваги над іншими теплоізолюючими матеріалами у низькій густині та низькій теплопровідності, що зумовлює малу масу та товщину шару покриття.

За певних властивостей піноутворювача можливе розширення діапазону поглинаючої дії (до дециметрового включно).

Незважаючи на більш високу вартість вихідних компонентів, пінні покриття на основі поліуретанів мають низку переваг, порівнюючи з водно-органічними та водно-полімерними пінними покриттями, як-от [5]:

- збереження маскуючих властивостей протягом тривалого часу;
- високі експлуатаційні та міцнісні показники;
- можливість використання за різних температур;
- тривалий час зберігання компонентів;
- можливість створення покриття із заданими радіопоглинаючими властивостями у широкому діапазоні довжин хвиль електромагнітних імпульсів.

Відмічається, що пінні покриття мають гарну адгезію до будь-яких поверхонь, стійкість до дії більшості органічних розчинників та високі маскуючі властивості в радіолокаційному діапазоні випромінювання, зменшують яскравість об'єктів у інфрачервоному діапазоні до рівня фону, знижують ефективність лазерних та спектральних засобів розвідки, допускають фарбування в кольори типових фонів місцевості, зменшують вплив на техніку та об'єкти.

До переваг пінного маскуванню можна віднести безпечність та простоту процесу маскуванню об'єкта від видимого спектра розвідки завдяки злиттю з кольорами місцевості. Але таке маскуванню є ефективним для об'єктів, що перебувають на тривалій зупинці або стоянці. Бойове застосування такої машини практично не можливе. Тому потребують розвитку засоби маскуванню, що не знижують бойової готовності підрозділів. Враховуючи переваги та недоліки пінної завіси, вважається за доцільне розроблення бульбашкової завіси.

Метою статті є визначення маскувальних властивостей бульбашкової завіси у інфрачервоному діапазоні випромінювання на основі експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Якісна оцінка маскувального ефекту бульбашок у інфрачервоному діапазоні випромінювання. Для дослідження застосовано тепловізор Нікмісго LYNX HM-TS03-25XG/W-LH25, що має роздільну здатність теплової матриці 384×288, чутливість менше ніж 35 мК та працює на довжині хвилі електромагнітного випромінювання 12 мкм. Теплова матриця тепловізора виконана на основі оксиду ванадію. Дослідження відбувалось таким чином. У полі зору тепловізора розміщувався об'єкт, поверхня якого підігрівалась тепловим феном. Відстань до об'єкта дорівнювала 5 м. У поперечному напрямку до осі спостереження розміщувався генератор бульбашок, з якого здійснювалось генерування бульбашок у напрямку осі спостереження за об'єктом. Теплове знімання об'єкта здійснювалось у режимі відеозапису за допомогою вбудованої у тепловізор камери.

За візуальною оцінкою генератор безперервно створював бульбашки середнього діаметра 2-3 см. Для формування бульбашок використано мильний розчин такого складу: поліпропілен, неіонні та амфотерні поверхнево-активні речовини, вода. Виробником розчину є Даркоп інтернешнал СПА, Італія. Таким складом розчину досягалось безперервне утворення бульбашок у генераторі.

Визначення температури об'єкта, що підігрівався, та фонових об'єктів здійснювалось за допомогою пірметра АХІОМЕТ АХ-6250. Він дозволяє безконтактно виміряти температуру об'єкта в діапазоні від -20 °С до +500 °С. В умовах проведених досліджень температура фону складала 15±1 °С, а температура підігрітого об'єкта дорівнювала 30±1 °С.

Фотографічне відображення умов проведення дослідження подано на рисунку 1.

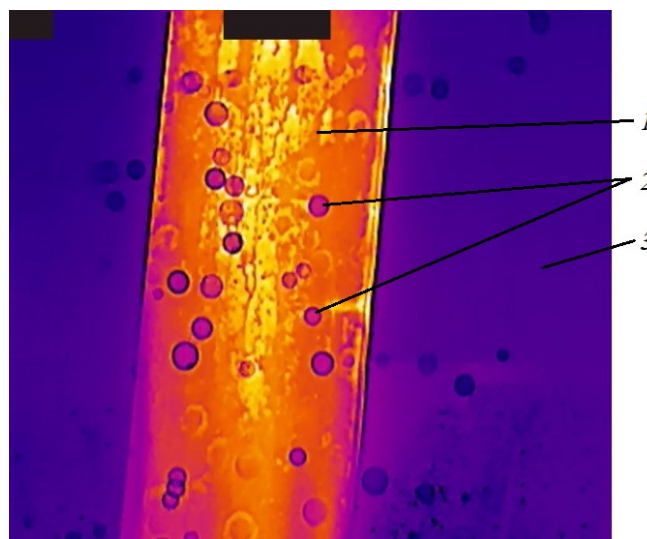


1 – об’єкт спостереження з підвищеною температурою; 2 – бульбашки; 3 – стіна;
4 – тепловізор, 5 – генератор бульбашок

Рисунок 1 – Фото умов якісного дослідження маскувального ефекту бульбашок у інфрачервоному діапазоні випромінювання

Дерев’яна дошка 1, що встановлювалась попереду стіни, попередньо підігрівалась тепловим феном. Бульбашки 2 генерувались за допомогою генератора 5 таким чином, щоб потрапляти в поле спостереження за дошкою з тепловізора 4. Стіна 3 та оточуючі предмети мали температуру оточуючого середовища.

Теплографічне відображення області спостереження, що фіксувалось тепловізором, подано на рисунку 2.



1 – об’єкт спостереження з підвищеною температурою; 2 – бульбашки; 3 – стіна

Рисунок 2 – Теплографічне відображення бульбашок на об’єкті спостереження

Камера тепловізора чітко фіксує наявність бульбашок у полі спостереження. З отриманих результатів маємо, що поява бульбашок у полі спостереження тепловізора призводить до зміни теплової сигнатури об’єкта спостереження. Область, що перекривається бульбашкою, відображає зниження температури з її наближенням до температури фону. При цьому маємо, що теплове відображення бульбашки не є однорідним. Також спостерігаємо область, де бульбашки частково перекривають одна одну на лінії спостереження. Стіна з іншими об’єктами, які є контрастними у

видимому діапазоні, набувають практично однорідного відображення у тепловому діапазоні.

Теплове відображення бульбашки нерівномірно зменшує тепловий контраст об'єкта, що маскується. Зокрема на межі зображення бульбашки теплографічне відображення наближається до фонового. У центрі бульбашки також спостерігається зниження температури, але воно є менш інтенсивним. Це пояснюється тим, що кривизна поверхні бульбашки посилює відбиття/поглинання теплового випромінювання, що посилює маскувальні властивості в цій області. Такий результат дає підстави вважати, що є доцільним зменшення розміру бульбашки для посилення маскувального ефекту. У разі, якщо на лінії візування спостерігається декілька бульбашок, то має місце зниження температури в області теплового відображення об'єкта.

Так, в області візуального перетину двох бульбашок спостерігається більш інтенсивне наближення теплового контрасту до фонового, ніж у центрах бульбашок. Таким чином, за умови досягнення певної концентрації бульбашок завіси по лінії візування, можливо наблизити теплове відображення об'єкта до фонового зображення.

Отримані результати дають підстави вважати, що кількісна оцінка маскувальних властивостей бульбашкової завіси потребує дослідження впливу розміру та концентрації бульбашок на ефективність маскування.

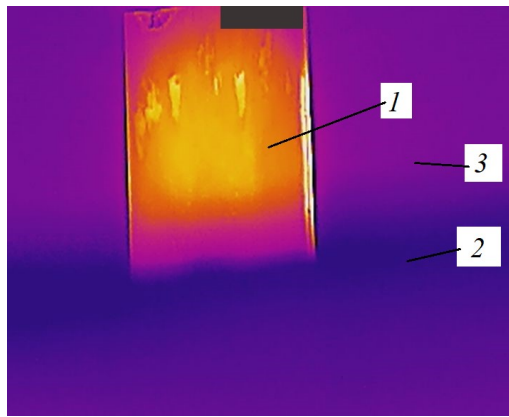
Перевірка можливості зниження теплового відображення об'єкта, що маскується, до фоновієї сигнатури завдяки зростанню кількості бульбашок, що розміщуються перед об'єктом по лінії візування, здійснювалась шляхом накопичення певної кількості бульбашок на цій лінії (рис. 3).



1 – піна з бульбашок; 2 – тепловізор; 3 – лінійка

Рисунок 3 – Формування піни з бульбашок на лінії візування тепловізора

У результаті подавання бульбашок в одну точку відбувалось їх осідання на поверхню з формуванням піни. Зовнішня форма піни набувала вигляд гори. Переміщенням по висоті лінії візування тепловізора створювалась можливість зміни довжини оптичного шляху, який теплове випромінювання проходить через піну. Його довжина вимірювалась лінійкою. Через визначення середнього розміру бульбашок у піні на цьому шляху створилась можливість грубої оцінки маскувальних властивостей бульбашкової завіси. Результати дослідження теплографічного відображення об'єкта з частковим перекриттям зображення піною з бульбашок подано на рисунку 4.



1 – об’єкт маскування з підвищеною температурою; 2 – область розташування піни на лінії візування; 3 – фонове відображення

Рисунок 4 – Відображення об’єкта маскування у тепловізорі з частковим перекриттям піною по лінії візування

Верхня частина, що має червоний колір, є відображення об’єкта, що не прикрито піною на лінії візування. Нижня частина фактично відображає піну, що розташована на лінії візування. Отриманий результат показує, що за певної концентрації бульбашок на одиницю площі об’єкта маскування досягається повне зникнення об’єкта у тепловізорному приладі спостереження. Будь-яка ідентифікація об’єкта за його зовнішнім контуром стає неможливою.

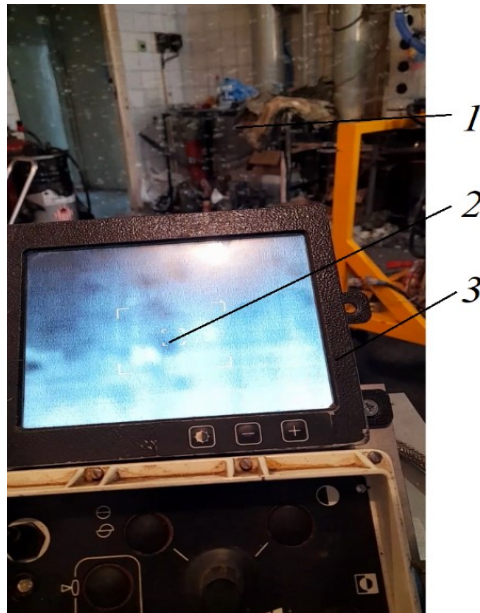
Грубе оцінювання дозволило встановити, що середній розмір осередків у піні склав 1-2 см. Довжина оптичного шляху ділянки з піною, за якої відбувається повне наближення зображення об’єкта до температури фону, дорівнює 10-20 см. Таким чином, очікувана мінімальна концентрація бульбашок на одиницю площі, за якої досягається повне закриття об’єкта в розглянутих умовах, складає 50-200 штук на 1 см². Слід зазначити, що з’єднання бульбашок між собою у вигляді піни призводить до зміни їх форми. Також зміна теплової потужності об’єкта маскування ймовірно призведе до зміни мінімальної концентрації бульбашок на одиницю площі, за якої досягається повне закриття об’єкта. Тому отримана оцінка може бути використана лише для визначення порядку величини маскувальних властивостей завіси.

Тепловізор Нікмісто призначений для мисливців. Тому він має певні обмеження за параметрами. Для подальшого оцінювання маскувального ефекту застосовано тепловізор, який встановлюється на танки російського агресора Т-72БВ.

У системі управління вогнем танка противник застосував французький тепловізор THALES-VOMZ CATHERINE FC. Він працює у діапазоні електромагнітного випромінювання від 8 мкм до 12 мкм. Маса тепловізора складає 5,5 кг за габаритних розмірів камери 180 мм×250 мм×120 мм. Екран має роздільну здатність 754×576 пікселів. Теплова чутливість тепловізора не менше 70 мК.

Відображення бульбашок на екрані тепловізора CATHERINE подано на рисунку 5. Спостерігаємо, що щільність бульбашок 1 не є достатньою для перекриття зображення у видимому діапазоні спостереження.

За такої щільності бульбашок у повітрі на екрані тепловізора спостерігаємо появу темних плям колоподібної форми. Зауважимо, що межа плями не є чіткою. На відміну від попередніх досліджень теплографічного зображення, на межі та в середині зображення бульбашки не спостерігається різниця теплового контрасту. Такий результат дає підстави вважати, що за малої щільності бульбашкової завіси досягається лише зміна теплографічного відображення об’єкта, що маскується, з приданням йому плямистого відображення. Такий вплив може зірвати захват цілі у головках самонаведення зі штучним інтелектом виявлення цілі за тепловим зображенням. Водночас отримані результати є попередніми і потребують кількісного оцінювання.



1 – бульбашка; 2 – вигляд бульбашки на екрані; 3 – екран тепловізора

Рисунок 5 – Відображення бульбашок на екрані тепловізора
THALES-VOMZ CATHERINE FC

Кількісна оцінка маскувального ефекту бульбашок у інфрачервоному діапазоні випромінювання. Для кількісних вимірювань застосовано професійний тепловізор Fluke TIR27, що працює у діапазоні від 7,5 мкм до 14 мкм з можливістю отримання зображень у видимому та інфрачервоному діапазоні випромінювання. Матриця тепловізора має роздільну здатність 240×180. Похибка вимірювань температури дорівнює ± 2 °C або ± 2 % (найбільше з вказаних значень).

Результати термографічного дослідження маскувального ефекту окремих бульбашок, що мають діаметр 1-2 см, подано на рисунку 6.

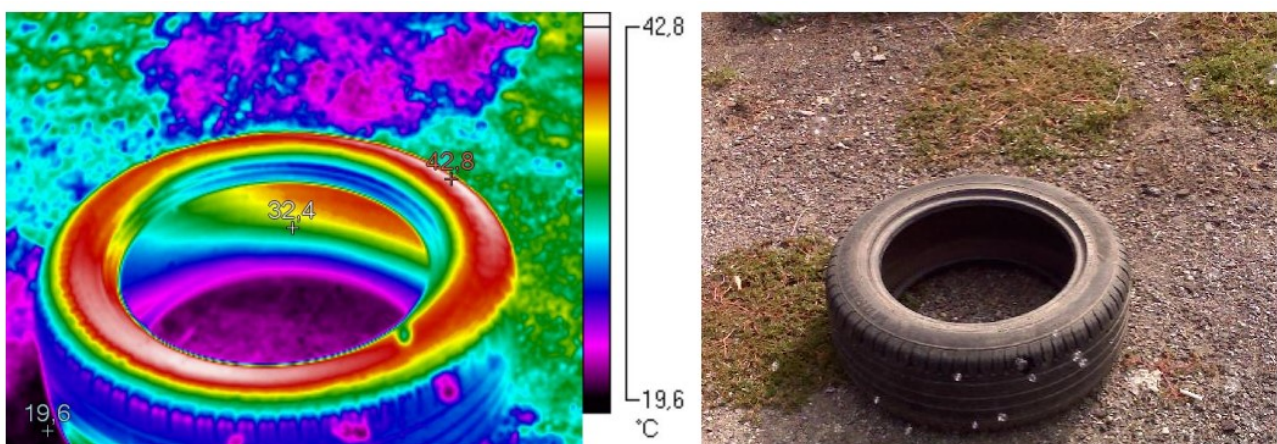


Рисунок 6 – Результати термографічного дослідження маскувального ефекту окремих бульбашок малого розміру з відображенням термограми (ліворуч) та видимого зображення (праворуч)

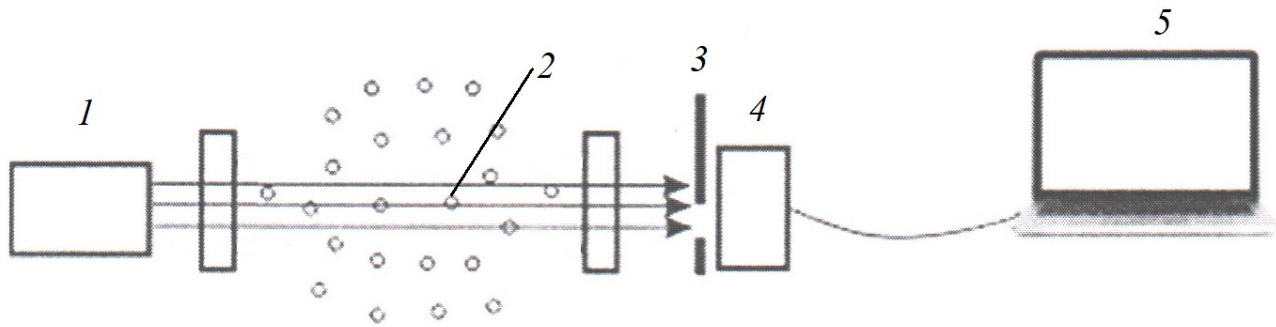
Слід зазначити, що термографічна зйомка та відеозйомка не співпадають у часі. Тому внаслідок руху бульбашок у повітрі положення бульбашок на зображеннях не співпадають. Також розмір відеозображення перевищує розмір теплового зображення, що спричинено різницею розмірів вимірювальних матриць.

За результатами вимірювань маємо, що за окремою бульбашкою має місце зниження температури на 3-9 К. Зокрема в області бічної сторони шини, що має температуру 38-39 °C, за бульбашкою

температура знижується до 30-31 °С для бульбашки діаметром близько 1 см. На обвідній поверхні покритишки температура дорівнює 26-27 °С. За бульбашками діаметром 2-2,5 см спостерігаємо зниження температури до 21-22 °С. При цьому в області перетинання по лінії візування двох бульбашок маємо зниження температури до 20 °С.

Окрім тепловізорів, що працюють у дальньому інфрачервоному діапазоні випромінювання, противник широко застосовує оптичні прилади, що працюють в ближньому та середньому діапазонах. Тому виникла потреба у визначенні маскувальних властивостей бульбашкового аерозолі в даних діапазонах.

Дослідження ослаблення інфрачервоного випромінювання бульбашковою піною в трьох спектральних діапазонах здійснювалось в лабораторній установці, схема якої подана на рисунку 7.



1 – джерело випромінювання; 2 – бульбашкова піна; 3 – модулятор;
4 – триканальний детектор випромінювання; 5 – комп'ютер

Рисунок 7 – Схема лабораторної установки для дослідження показника ослаблення оптичного випромінювання в аерозолі

Джерелом інфрачервоного випромінювання 1 була лампа інфрачервона керамічна WQ потужністю 200 Вт. Лампа має температуру розігріву 600 °С та здійснює випромінювання в діапазоні від 0,65 мкм до 14 мкм. Триканальний детектор 4 складався з піроелектричного двоканального детектора типу 2LTA G2 з оптичними фільтрами, що прозорі у спектральному діапазоні від 3 мкм до 5 мкм (перший канал) та у діапазоні від 7,5 мкм до 13,5 мкм (другий канал), і фотодіода MTPD 1346D-100, який чутливий у діапазоні від 0,4 мкм до 1,7 мкм.

Загальний вигляд умов вимірювання в трьох спектральних діапазонах: від 0,4 мкм до 1,7 мкм, від 3 мкм до 5 мкм та від 7,5 мкм до 13,5 мкм, подано на рисунку 8.



1 – джерело випромінювання; 2 – бульбашкова піна; 3 – модулятор;
4 – триканальний детектор випромінювання

Рисунок 8 – Лабораторна установка для дослідження показника ослаблення оптичного випромінювання

Досліджування здійснювалось таким чином. Після вмикання інфрачервоної випромінювач протягом 5 хв прогрівався (виходив на сталий режим випромінювання). Потім вмикався модулятор для створення пульсуючих променів на триканальному детекторі, що надходять від випромінювача.

Вікно модулятора було розміщене на шляху інфрачервоних променів від джерела випромінювання до детектора. Пульсація випромінювання необхідна для уникнення насичення детектора в результаті його нагрівання під дією інтенсивного випромінювання. Шляхом регулювання частоти обертання модулятора та підсилювачів сигналів детектора лабораторна установка налаштовувалась по трьох каналах на фіксування максимально допустимого сигналу до появи насичення. Після налаштування установку запускали на запис сигналу, що вимірюється, а на шляху інфрачервоних променів від джерела випромінювання до детектора створювалась піна з бульбашок. Це призводило до зміни сигналів, що реєструвались детектором.

Результати дослідження показника ослаблення оптичного випромінювання в бульбашковій піні подано на рисунку 9.

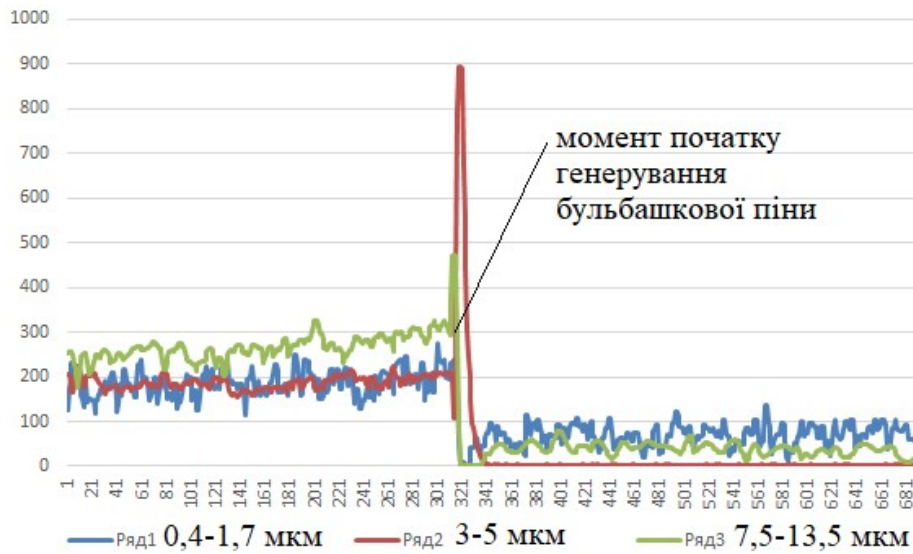


Рисунок 9 – Зміна у часі сигналів з триканального детектора у разі генерування бульбашкової піни на шляху інфрачервоних променів

За результатами вимірювань маємо, що послаблення випромінювання за бульбашкової піною відбувається у всіх діапазонах інфрачервоного випромінювання, що досліджувались. Найбільше послаблення відбулось у діапазоні від 3 мкм до 5 мкм. Послаблення випромінювання у діапазоні від 7,5 мкм до 13,5 мкм відбулось з умовної середньої інтенсивності 269 одиниць до 39 одиниць, тобто у 6,9 разу. У діапазоні від 0,4 мкм до 1,7 мкм послаблення випромінювання відбулось з 188 одиниць до 71 одиниці, тобто у 2,65 разу. А в діапазоні від 3 мкм до 5 мкм таке послаблення відбулось у 85 раз. Таким чином, виникає неоднаковий коефіцієнт послаблення на різних діапазонах інфрачервоного випромінювання. При цьому середній розмір бульбашки у піні складав 2-3 см, а кількість бульбашок на оптичному шляху дорівнювала 10-20 шт.

Отримані результати свідчать про доцільність розвитку системи маскування на основі бульбашкової завіси.

Висновки

На основі експериментальних досліджень виявлено маскувальні властивості бульбашкової завіси у інфрачервоному діапазоні випромінювання. Зокрема встановлено, що теплове відображення бульбашки не рівномірно зменшує тепловий контраст об'єкта, що маскується. На межі зображення бульбашки теплографічне відображення наближається до фонового. У центрі бульбашки також спостерігається зниження температури, але воно є менш інтенсивним. Очікувана мінімальна концентрація бульбашок на одиницю площі, за якої досягається повне закриття об'єкта в розглянутих умовах, складає 50-200 штук на 1 см². За результатами вимірювань отримано, що за окремою бульбашкою має місце зниження температури на 3-9 К для бульбашки діаметром близько 1 см. В умовах проведених досліджень послаблення випромінювання у діапазоні від 7,5 мкм до 13,5 мкм

відбулось в 6,9 разу, у діапазоні від 0,4 мкм до 1,7 мкм – у 2,65 разу, а в діапазоні від 3 мкм до 5 мкм таке послаблення відбулось у 85 раз. У подальшому планується дослідження можливості створення системи генерування бульбашкової завіси високої продуктивності.

Перелік джерел посилання

1. Розвиток засобів маскування дій військ та об'єктів із застосуванням аерозолів / Гутченко О. А., Гутченко К. С., Тіхонов І. М., Ушмаров П. В. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 3 (16). С. 154 – 157.
2. Белоусов І. О. Розвиток засобів маскування підрозділів військ (сил) на основі компресійно-детонаційної технології подрібнення аерозолеутворних речовин : дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14. Харків, 2021. 147 с.
3. Матикін В. Б., Марущенко В. В. Машина радіаційної, хімічної, біологічної розвідки. Харків : Військ. ін-т танкових військ НТУ «ХПІ», 2018. 198 с.
4. Аерозольна протидія технічним засобам розвідки високоточної зброї противника в бою та операціях / Л. Ф. Кузьменко та ін. ; під ред. Р. М. Факадея. Київ : НАОУ, 2003. 136 с.
5. Радиопоглощающие материалы и маскирующие пенные покрытия – online presentation (ppt-online.org). URL: <https://en.ppt-online.org/161578> (дата звернення: 10.09.2023).
6. Дослідження можливостей захисту озброєння та військової техніки від баражуючих боєприпасів / В. Маміч та ін. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, 2023. Вип. 79. С. 47–53. URL: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-05> (дата звернення: 15.09.2024).
7. Мосов С. П., Хорошилова С. Й. Особливості застосування оперативно-тактичної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах ХХ століття. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського*. Київ, 2018. № 2 (63). С. 104-109.
8. Корольов Р. В., Растопчин. В. В. Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2017/> (дата звернення: 16.09.2024).
9. Mechanized Smoke Obscurant Carrier M58 «Wolf». *The American Fighting Vehicle Database*. URL: <http://afvdb.50megs.com/usa/m58wolf.html> (дата звернення: 16.09.2024).
10. M58A3 «Wolf» Smoke Generator Carrier. *Electronic catalog of a private military company GlobalSecurity.org*. 7 Jul 2011. 26 Aug 2016. URL: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/m58.htm> (дата звернення: 17.09.2024).

Стаття надійшла до редакції 02.10.2024 р.

UDC 623.1

К. Korytchenko, O. Klimov, I. Tsebriuk, A. Kasimov

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SCREENING PROPERTIES OF THE BULB CURTAIN IN THE INFRARED RANGE OF RADIATION

The article presents the results of an experimental study of the screening properties of a bubble obscurant in the infrared range of radiation. Detection of the masking effect of bubbles was carried out by qualitative and quantitative measurements. A Hikmicro LYNX HM-TS03-25XG/W-LH25 thermal imager was used to qualitatively assess the screening effect of bubbles. A Fluke TIR27 professional thermal imager was used for quantitative measurements. The appearance of bubbles in the observation field of the thermal imager leads to a change in the thermal signature of the observation object. In the area of the visual intersection of two bubbles, a more intense approach of the thermal contrast to the background was observed than in the centers of the bubbles. According to the research results, the attenuation of radiation by the bubble curtain was found in the ranges from 0.4 μm to 1.7 μm , from 3 μm to 5 μm , and from 7.5 μm to 13.5 μm . It was found that the thermal reflection of the bubble does not uniformly reduce the thermal contrast of the object being

masked. At the boundary of the bubble image, the thermographic reflection approaches the background. In the center of the bubble there is also a decrease in temperature, but it is less intense. The expected minimum concentration of bubbles per unit area, which achieves complete screening of the object under the considered conditions, is 50-200 bubbles per 1 cm². At a low concentration of the bubble obscuring, only a change in the thermal reflection of the masking object is achieved, giving it a spotty reflection. Such an impact can disrupt target capture in homing heads with artificial intelligence of target detection by thermal imaging. Such an impact can disrupt target capture in homing heads with artificial intelligence of target detection by thermal imaging. In the future, it is planned to study the possibility of creating a high-performance bubble curtain generation system.

Key words: masking properties, bubble curtain, infrared radiation, optical radiation attenuation index.

Коритченко Костянтин Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальної електротехніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-1005-7778>

Клімов Олексій Петрович – начальник кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0003-0727-2976>

Цебрюк Іван Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри бронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-4246-8854>

Касімов Анатолій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри озброєння та стрільби факультету управління діями підрозділів танкових військ Військового інституту танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

<https://orcid.org/0000-0002-7358-4719>