УДК 355.48
№ держреєстрації 0126U001700

Київський інститут Національної гвардії України
03179, м. Київ, вул. Оборони Києва, 7; тел. +38 (067) 139 49 36

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник Київського інституту
Національної гвардії України,
кандидат юридичних наук,
полковник
Андрій МАРТИНЮК
___.___.2026

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

(шифр – «Камо»)
(остаточний)

Науковий керівник НДР
кандидат технічних наук, доцент
полковник
29.10.2026 Артем ІВАНЧЕНКО

2026

Рукопис закінчено 29.10.2026 р.

Результати роботи розглянуто вченою радою Київського інституту Національної гвардії України, протокол від 30.10.2026 р. № 6

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник НДР:
Начальник кафедри безпілотних
систем та радіоелектронної боротьби,
к.т.н., доцент,
полковник
29.10.2026 Артем ІВАНЧЕНКО

Відповідальний виконавець:
старший викладач кафедри
безпілотних систем та
радіоелектронної боротьби, Сергій ЛЕГЕНЧУК
підполковник
29.10.2026

Виконавці:
старший викладач кафедри
безпілотних систем та
радіоелектронної боротьби, Євгеній КАРНАШ
підполковник
29.10.2026

викладач кафедри безпілотних систем
та радіоелектронної боротьби Сергій МАНГУЛ
підполковник
29.10.2026

Начальник секції S7 окремого загону
безпілотних систем спеціального
призначення військової частини 2260
майор Тарас НІЩЕМНИЙ
29.10.2026

РЕФЕРАТ

Звіт по НДР: 111 с., 14 табл., 100 джерел.

ПРИРОДНЕ МАСКУВАННЯ, ПРИХОВАНІСТЬ, ПОВІТРЯНА РОЗВІДКА, БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ВИЯВЛЕННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ, РЕЛЬЄФ МІСЦЕВОСТІ, РОСЛИННИЙ ПОКРИВ, ТЕПЛОВА ПОМІТНІСТЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Звіт науково-дослідної роботи присвячено підвищенню результативності використання природного середовища для зниження ймовірності виявлення особового складу розвідувальних підрозділів засобами повітряної розвідки.

Об’єктом дослідження є особовий склад розвідувальних підрозділів під час виконання завдань у польових умовах у зоні досяжності засобів повітряного спостереження.

Предметом дослідження є чинники природного середовища, що впливають на візуальну та теплову помітність особового складу під час спостереження з БпЛА, обладнаних оптичними та інфрачервоними сенсорами.

Мета роботи — визначити способи використання природного середовища для зменшення ймовірності виявлення особового складу засобами повітряного спостереження противника.

Проаналізовано можливості засобів повітряної розвідки щодо виявлення людини та систематизовано природні й поведінкові чинники її помітності. Розроблено математичний підхід до оцінювання результативності природного маскування, який передбачає окреме визначення природної та поведінкової складових із подальшим узагальненням результатів.

Проведено натурні спостереження за різних умов місцевості та режимів діяльності особового складу. Їхні результати використано для зіставлення розрахункових і фактичних показників прихованості та уточнення практичних рекомендацій.

Встановлено, що результативність маскування залежить від поєднання властивостей рельєфу й рослинності, температурного фону, освітлення та характеру дій особового складу.

Наукова новизна полягає в удосконаленні кількісного оцінювання природного маскування шляхом інтегрування природних і поведінкових показників. Практичне значення роботи полягає в можливості застосування її результатів під час планування дій і підготовки особового складу.

ABSTRACT

NATURAL CAMOUFLAGE, CONCEALMENT, AERIAL RECONNAISSANCE, UNMANNED AERIAL VEHICLE, PERSONNEL DETECTION, TERRAIN, VEGETATION COVER, THERMAL SIGNATURE, MATHEMATICAL MODEL, FIELD STUDIES

This research report addresses the improvement of natural environment use to reduce the probability of reconnaissance unit personnel being detected by aerial reconnaissance systems.

The object of the study is reconnaissance unit personnel carrying out tasks in field conditions within the range of aerial surveillance systems.

The subject of the study is the environmental factors that affect the visual and thermal signatures of personnel observed by unmanned aerial vehicles equipped with optical and infrared sensors.

The aim of the study is to identify ways of using the natural environment to reduce the probability of personnel detection by enemy aerial surveillance systems.

The capabilities of aerial reconnaissance systems to detect individuals are analyzed, and the natural and behavioral factors affecting their detectability are classified. A mathematical approach to assessing the effectiveness of natural camouflage is developed. It involves separate assessment of natural and behavioral components, followed by integration of the results.

Field observations were conducted under varying terrain conditions and patterns of personnel activity. The results were used to compare calculated and observed concealment indicators and to refine practical recommendations.

The study found that camouflage effectiveness depends on the combined properties of terrain and vegetation, the thermal background, lighting conditions, and the nature of personnel activities.

The scientific novelty lies in improving the quantitative assessment of natural camouflage through the integration of natural and behavioral indicators. The practical significance of the study lies in the potential application of its findings to operational planning and personnel training.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 7
ВСТУП 8
1. АНАЛІЗ УМОВ ВИЯВЛЕННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ СУЧАСНИМИ ЗАСОБАМИ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ 11
1.1. Сучасний стан розвитку засобів повітряної розвідки 11
1.2. Засоби спостереження сучасних БпЛА 14
1.3. Демаскувальні ознаки особового складу 17
1.4. Вплив природного середовища на можливість виявлення 19
1.5. Аналіз існуючих способів природного маскування 22
Висновки до розділу 1 24
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТА КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ 27
2.1. Аналіз існуючих підходів до оцінювання прихованості 27
2.2. Вибір основного показника результативності 29
2.3. Формування системи часткових показників 32
2.4. Обґрунтування структури інтегрального показника 35
2.5. Методика визначення вагових коефіцієнтів 38
2.6. Формування концептуальної моделі дослідження 41
Висновки до розділу 2 43
3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ 46
3.1. Загальна структура математичної моделі 46
3.2. Аналіз чутливості математичної моделі 53
3.3. Алгоритм розрахунку коефіцієнта результативності 56
Висновки до розділу 3 59
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ 62
4.1. Організація натурних досліджень 62
4.2. Методика проведення польових експериментів 64
4.3. Результати натурних досліджень 67
4.4. Статистична обробка експериментальних результатів 70
4.5. Перевірка адекватності математичної моделі 73
Висновки до розділу 4 76

5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ 78
5.1. Рекомендації щодо використання рельєфу 78
5.2. Рекомендації щодо використання рослинності 80
5.3. Рекомендації щодо зниження теплової помітності 82
5.4. Рекомендації щодо організації пересування 85
5.5. Рекомендації щодо вибору позицій..... 87
5.6. Рекомендації щодо дій в умовах застосування БпЛА противника..... 90
5.7. Методика прогнозування результативності природного маскування під час планування бойових дій..... 93
5.8. Пропозиції щодо впровадження результатів НДР у систему підготовки розвідувальних підрозділів 95
Висновки до розділу 5 98
ВИСНОВКИ..... 102
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ 106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БпЛА — безпілотний літальний апарат.
ІЧ — інфрачервоний.
$К_{пов}$ — коефіцієнт поведінкової складової результативності природного маскування.
$К_{пр}$ — коефіцієнт природної складової результативності природного маскування.
$К_{рез}$ — інтегральний коефіцієнт результативності природного маскування.
НДР — науково-дослідна робота.
$Р_0$ — базова ймовірність виявлення особового складу без застосування заходів природного маскування.
$Р_m$ — ймовірність виявлення особового складу за умов застосування заходів природного маскування.

ВСТУП

Сучасний розвиток засобів повітряної розвідки докорінно змінив умови ведення бойових дій та суттєво вплинув на вимоги до забезпечення прихованості військ. Масове застосування безпілотних авіаційних комплексів різних класів, оснащених високочутливими оптичними, тепловізійними та багатоспектральними сенсорами, призвело до значного зростання можливостей противника щодо виявлення особового складу, озброєння та військової техніки практично в режимі реального часу. У таких умовах прихованість підрозділів перетворюється на один із ключових чинників збереження боєздатності та успішного виконання бойових завдань [1, 2].

Особливої актуальності зазначена проблема набуває для розвідувальних підрозділів, діяльність яких безпосередньо пов'язана з прихованим пересуванням, тривалим перебуванням у районах спостереження, виконанням завдань у безпосередній близькості до противника та постійною загрозою викриття засобами повітряної розвідки. На відміну від загальновійськових підрозділів, для яких демаскування може призводити до втрати тактичної переваги, для розвідувальних органів виявлення часто означає зрив виконання завдання та створення безпосередньої загрози особовому складу [3, 5, 6, 10].

Досвід сучасних воєнних конфліктів переконливо свідчить про стрімке зростання ролі безпілотних авіаційних комплексів у системі розвідки, цілевказання та вогневого ураження. Аналіз результатів бойових дій демонструє, що значна частина втрат особового складу та техніки пов'язана саме з їх своєчасним виявленням засобами повітряного спостереження. У багатьох випадках вирішальне значення має не стільки рівень технічного оснащення підрозділу, скільки здатність ефективно використовувати властивості навколишнього середовища для зниження власної помітності [4, 7, 8].

Традиційно питання маскування розглядаються переважно з позицій інженерного обладнання позицій, використання табельних маскувальних засобів або організаційних заходів забезпечення прихованості. Водночас природне середовище як самостійний фактор зниження ймовірності виявлення часто оцінюється переважно якісно та не має достатнього математичного обґрунтування. Існуючі рекомендації щодо використання рельєфу місцевості, рослинності, особливостей підстильної поверхні або мікрокліматичних умов здебільшого базуються на емпіричному досвіді та не дозволяють кількісно оцінювати очікуваний результат від застосування конкретних заходів природного маскування [9, 11].

Додатковою проблемою є відсутність єдиного науково-методичного підходу до оцінювання ефективності природного маскування в умовах використання сучасних багатоспектральних засобів спостереження. Більшість відомих методик розроблялися для умов застосування традиційних оптичних систем і не враховують особливостей функціонування тепловізійних сенсорів, автоматизованих систем обробки зображень та алгоритмів комп'ютерного розпізнавання об'єктів. Унаслідок цього виникає необхідність створення

науково обґрунтованого інструментарію, який дозволяв би оцінювати результативність природного маскування з урахуванням сучасних технологій повітряної розвідки.

Вирішення зазначеної проблеми потребує комплексного врахування великої кількості взаємопов'язаних факторів. До них належать характеристики рельєфу місцевості, параметри рослинного покриву, фізичні властивості підстильної поверхні, метеорологічні умови, режими діяльності особового складу, особливості його пересування та поведінки, а також технічні характеристики засобів повітряного спостереження. Взаємодія зазначених факторів має складний нелінійний характер, що унеможливлює їх адекватне оцінювання виключно експертними методами та обумовлює необхідність застосування математичного моделювання і натурних експериментів.

Метою виконаної науково-дослідної роботи є наукове обґрунтування використання природного середовища для зниження можливості виявлення особового складу розвідувальних підрозділів сучасними засобами повітряної розвідки, а також розроблення математичної моделі оцінювання результативності проведення заходів природного маскування.

Для досягнення поставленої мети виконано комплекс взаємопов'язаних теоретичних, аналітичних та експериментальних досліджень. Проведено аналіз сучасного стану розвитку засобів повітряної розвідки та їх можливостей щодо виявлення особового складу. Досліджено вплив характеристик природного середовища на умови спостереження у видимому та інфрачервоному діапазонах. Визначено сукупність природних і поведінкових факторів, які впливають на рівень помітності людини. Розроблено систему кількісних показників оцінювання окремих складових природного маскування. Сформовано математичну модель інтегрального оцінювання результативності проведення заходів природного маскування та здійснено її експериментальну перевірку в умовах натурних досліджень із використанням безпілотних авіаційних комплексів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні математичної моделі оцінювання результативності природного маскування, яка вперше поєднує кількісні характеристики природного середовища та поведінкові особливості діяльності особового складу в межах єдиного інтегрального показника. На відміну від відомих підходів, запропонована модель дозволяє не лише оцінювати фактичну ефективність проведених заходів природного маскування, а й прогнозувати їх результативність на етапі планування бойових дій.

Практичне значення виконаної роботи полягає у можливості використання розроблених методичних положень, математичної моделі та практичних рекомендацій під час організації діяльності розвідувальних підрозділів, планування маршрутів пересування особового складу, вибору районів розташування спостережних позицій та оцінювання ризику виявлення сучасними засобами повітряної розвідки. Отримані результати можуть бути використані у системі підготовки військових фахівців, під час розроблення

керівних документів з питань маскування, а також у подальших наукових дослідженнях, присвячених проблемам забезпечення прихованості військ.

Результати виконаної науково-дослідної роботи створюють науково-методичне підґрунтя для переходу від переважно якісного оцінювання природного маскування до його кількісного аналізу та прогнозування, що відповідає сучасним вимогам розвитку військової науки і практики застосування розвідувальних підрозділів в умовах широкого використання безпілотних авіаційних комплексів та інших високотехнологічних засобів повітряної розвідки.

1. АНАЛІЗ УМОВ ВИЯВЛЕННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ СУЧАСНИМИ ЗАСОБАМИ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ

1.1. Сучасний стан розвитку засобів повітряної розвідки

Сучасний етап розвитку воєнного мистецтва характеризується стрімким зростанням ролі інформаційної переваги як одного з визначальних чинників досягнення успіху в бойових діях. Умови ведення збройної боротьби дедалі більше залежать від можливостей своєчасного отримання достовірної інформації про противника, його наміри, склад сил і засобів, характер дій та зміни оперативної обстановки. У цих умовах особливого значення набувають засоби повітряної розвідки, які забезпечують оперативне спостереження за значними територіями, виявлення об'єктів у реальному масштабі часу та безперервний моніторинг обстановки незалежно від ступеня насиченості району бойових дій військами і технікою.

Розвиток засобів повітряної розвідки протягом останніх десятиліть відбувався під впливом двох взаємопов'язаних процесів. Перший пов'язаний із швидким удосконаленням сенсорних технологій, другий — із розвитком безпілотних авіаційних систем, які забезпечили принципово новий рівень доступності повітряного спостереження. Якщо раніше основними носіями розвідувальної апаратури були пілотовані літаки та вертольоти, застосування яких вимагало значних матеріальних ресурсів і супроводжувалося ризиком для екіпажу, то сьогодні значна частина розвідувальних завдань виконується безпілотними авіаційними комплексами різного призначення. Це дозволило істотно збільшити інтенсивність повітряного спостереження та забезпечити практично безперервний контроль за визначеними районами [18]. Порівняльні характеристики БпЛА та підходи до їх використання для повітряного спостереження наведено у працях [41–43, 47, 97–100].

Сучасні засоби повітряної розвідки являють собою складні інтегровані системи, що поєднують авіаційну платформу, комплекс бортових сенсорів, засоби передачі даних, автоматизовані системи обробки інформації та елементи штучного інтелекту для підтримки процесів виявлення і розпізнавання об'єктів. Їх ефективність визначається не лише технічними характеристиками окремих компонентів, а й здатністю забезпечувати комплексне використання інформації, отриманої в різних спектральних діапазонах.

Однією з найбільш характерних тенденцій сучасного розвитку є перехід від використання окремих каналів спостереження до багатоспектральних та мультисенсорних систем. У сучасних умовах оптичні засоби спостереження вже не можуть повністю забезпечити вирішення розвідувальних завдань через обмеження, пов'язані з освітленістю місцевості, погодними умовами та природним маскуванням об'єктів. Саме тому більшість сучасних повітряних розвідувальних комплексів оснащуються одночасно телевізійними, тепловізійними, інфрачервоними та лазерними засобами спостереження, що значно розширює їх можливості щодо виявлення цілей.

Оптичні системи залишаються одним із найпоширеніших засобів отримання розвідувальної інформації. Висока роздільна здатність сучасних цифрових матриць дозволяє здійснювати детальне спостереження за місцевістю, ідентифікувати об'єкти за характерними ознаками та формувати високоточні цифрові моделі місцевості. Завдяки розвитку технологій стабілізації зображення, цифрового масштабування та автоматичного супроводження цілей ефективність телевізійних систем значно зросла порівняно з попередніми поколіннями обладнання. Разом із тим їх функціонування залишається залежним від природної освітленості та прозорості атмосфери, що обмежує можливості застосування в умовах туману, опадів або темного часу доби.

Зазначені обмеження стали однією з причин широкого впровадження тепловізійних систем спостереження. Тепловізійна апаратура забезпечує реєстрацію власного теплового випромінювання об'єктів і дозволяє виявляти особовий склад навіть за відсутності природного освітлення. Розвиток мікроболометричних матриць сприяв істотному підвищенню чутливості тепловізорів та зниженню їх масогабаритних характеристик. У результаті сучасні безпілотні авіаційні комплекси здатні ефективно виявляти теплові контрасти між людиною та навколишнім середовищем на значних відстанях. Особливо важливим є те, що тепловізійні системи дозволяють виявляти замасковані об'єкти навіть за умови їх часткового приховування рослинністю або елементами рельєфу [20]. Фізичні закономірності формування теплового контрасту та принципи тепловізійного спостереження висвітлено у працях [81–89].

Подальший розвиток засобів повітряної розвідки супроводжується активним використанням інфрачервоних сенсорів середнього та далекого спектральних діапазонів. Їх застосування забезпечує підвищення ефективності спостереження в складних метеорологічних умовах та дозволяє виявляти об'єкти за мінімальних теплових контрастів. Поєднання телевізійних і тепловізійних каналів створює умови для формування комплексного інформаційного образу об'єкта, що суттєво підвищує достовірність його розпізнавання.

Важливою тенденцією розвитку сучасних систем повітряної розвідки є широке впровадження технологій автоматизованої обробки інформації. Якщо раніше процес виявлення цілей майже повністю залежав від професійної підготовки оператора, то сьогодні значна частина функцій виконується програмними алгоритмами. Використання методів машинного навчання та комп'ютерного зору дозволяє автоматично виділяти потенційні об'єкти інтересу, здійснювати їх класифікацію та супроводження, а також зменшувати вплив людського фактора на результати розвідки. Сучасні алгоритми здатні аналізувати великі масиви відеоданих у режимі реального часу, що істотно скорочує час між виявленням об'єкта та прийняттям рішення щодо його подальшого ураження або супроводження.

Особливого значення розвиток засобів повітряної розвідки набув унаслідок широкого застосування безпілотних авіаційних комплексів

тактичного рівня. Якщо раніше можливості повітряного спостереження були зосереджені переважно на оперативному та стратегічному рівнях управління, то нині вони стали доступними безпосередньо підрозділам тактичної ланки. Це призвело до суттєвого збільшення щільності повітряного спостереження над районами бойових дій і значно ускладнило завдання прихованого пересування особового складу.

Сучасні бойові дії демонструють тенденцію до формування так званого прозорого поля бою, в умовах якого будь-яке переміщення особового складу або техніки може бути виявлене протягом короткого проміжку часу. Безперервне чергування безпілотних літальних апаратів у повітрі створює умови для постійного контролю місцевості, а інтеграція засобів повітряної розвідки з автоматизованими системами управління забезпечує швидке передавання отриманої інформації до органів управління та вогневих засобів.

Водночас підвищення технічних можливостей засобів повітряної розвідки супроводжується ускладненням вимог до забезпечення прихованості військ. Якщо раніше основна увага приділялася візуальному маскуванню об'єктів, то нині необхідно враховувати широкий спектр демаскувальних ознак, які можуть бути використані сучасними сенсорами. До таких ознак належать геометричні характеристики об'єкта, особливості його кольорового контрасту, теплове випромінювання, характер руху, зміни рослинного покриву, сліди діяльності людини та інші прояви, що можуть бути зафіксовані технічними засобами спостереження [14, 22]. Методи автоматизованого виявлення, сегментації та розпізнавання об’єктів за зображеннями розглянуто у працях [59–73].

Аналіз сучасних тенденцій розвитку засобів повітряної розвідки свідчить про подальше зростання ролі автоматизації процесів виявлення та розпізнавання цілей, підвищення чутливості сенсорів, розширення спектрального діапазону спостереження та інтеграцію розвідувальних комплексів у єдині інформаційно-управляючі системи. Це призводить до постійного зростання ймовірності виявлення особового складу та вимагає пошуку нових підходів до забезпечення його прихованості.

У таких умовах особливого значення набуває використання природного середовища як одного з найефективніших засобів зниження помітності особового складу. Властивості рельєфу місцевості, характер рослинного покриву, особливості підстильної поверхні та мікрокліматичні умови можуть суттєво впливати на можливості сучасних засобів повітряної розвідки щодо виявлення людини. Саме тому дослідження закономірностей впливу природних факторів на ефективність повітряного спостереження є необхідною передумовою розроблення науково обґрунтованих методів природного маскування та побудови математичних моделей оцінювання їх результативності.

1.2. Засоби спостереження сучасних БпЛА

Ефективність застосування сучасних безпілотних авіаційних комплексів у значній мірі визначається не стільки характеристиками самої літальної платформи, скільки можливостями бортових засобів спостереження, які забезпечують отримання, оброблення та передачу розвідувальної інформації. Саме сенсорні системи формують інформаційну перевагу на полі бою, дозволяючи здійснювати виявлення, розпізнавання, ідентифікацію та супроводження об’єктів на значних відстанях у складних природних та погодних умовах. У сучасних умовах розвитку воєнного мистецтва відбувається поступовий перехід від традиційного візуального спостереження до комплексного багатоспектрального моніторингу навколишнього середовища, що значно підвищує можливості повітряної розвідки та водночас ускладнює забезпечення прихованості особового складу [16]. Теоретико-методичні засади дистанційного зондування та цифрового аналізу зображень викладено у працях [74–77].

Еволюція засобів спостереження безпілотних літальних апаратів безпосередньо пов'язана із загальним розвитком цифрових технологій, мікроелектроніки та засобів оброблення інформації. Якщо перші покоління безпілотних комплексів оснащувалися переважно простими телевізійними камерами, можливості яких обмежувалися умовами природного освітлення та погодною обстановкою, то сучасні розвідувальні системи використовують складні оптико-електронні комплекси, здатні функціонувати практично цілодобово. Вони забезпечують спостереження у декількох спектральних діапазонах, автоматичне розпізнавання об’єктів, стабілізацію зображення та передачу великих обсягів даних у реальному масштабі часу.

Найбільш поширеним засобом спостереження залишаються телевізійні камери видимого спектра. Їх використання пояснюється відносною простотою конструкції, високою просторовою роздільною здатністю та можливістю отримання детальної візуальної інформації про місцевість. Сучасні телевізійні системи забезпечують формування цифрового зображення високої чіткості, що дозволяє виявляти окремі елементи спорядження, визначати характер діяльності особового складу та здійснювати детальне картографування місцевості. Особливого розвитку набули системи із багатократним оптичним збільшенням, які дозволяють виконувати спостереження на значних відстанях без необхідності наближення літального апарата до району спостереження.

Разом із тим використання телевізійних камер супроводжується низкою обмежень, пов'язаних із залежністю від рівня освітленості, атмосферної прозорості та контрастності об'єкта відносно навколишнього фону. За умов сутінок, туману, опадів або значної задимленості ефективність телевізійного спостереження різко знижується. Саме тому сучасні безпілотні комплекси практично завжди оснащуються додатковими сенсорами, здатними працювати в інших спектральних діапазонах.

Особливе місце серед засобів повітряної розвідки займають тепловізійні системи. Їх функціонування базується на реєстрації власного теплового

випромінювання об'єктів, що дозволяє здійснювати спостереження незалежно від природного освітлення. Для задач виявлення особового складу тепловізійні сенсори мають принципове значення, оскільки людина є постійним джерелом теплового випромінювання, яке за певних умов може бути зафіксоване навіть за наявності значного маскувального фону.

Сучасні тепловізійні камери характеризуються високою температурною чутливістю, що дозволяє реєструвати мінімальні температурні відмінності між об’єктом та навколишнім середовищем. Зменшення значення еквівалентної шуму температурної різниці призводить до підвищення ймовірності виявлення об’єктів із низьким тепловим контрастом. Для дослідження природного маскування ця обставина має особливе значення, оскільки ефективність використання рослинності, рельєфу місцевості та інших природних факторів значною мірою визначається їх здатністю знижувати тепловий контраст між людиною та навколишнім середовищем.

Важливою особливістю сучасних тепловізійних систем є використання різних інфрачервоних діапазонів. Середньохвильові тепловізори забезпечують високу якість зображення за значних дистанцій спостереження, тоді як довгохвильові системи більш ефективні в умовах складної атмосфери та високої вологості повітря. Вибір конкретного типу сенсора залежить від завдань спостереження, характеру місцевості та особливостей кліматичних умов району застосування.

Подальший розвиток засобів повітряної розвідки пов'язаний із широким впровадженням багатоспектральних оптико-електронних систем. Такі комплекси поєднують телевізійні камери видимого спектра, тепловізійні сенсори, лазерні далекоміри та допоміжні системи навігації в межах єдиної інформаційної архітектури. Одночасне використання декількох каналів спостереження дозволяє компенсувати недоліки кожного окремого сенсора та забезпечує значне підвищення достовірності отриманих результатів.

Інтеграція різнорідних джерел інформації відкриває можливість формування комплексного образу об'єкта спостереження. Якщо телевізійна камера забезпечує детальне відображення зовнішнього вигляду цілі, то тепловізійний канал дозволяє оцінити її тепловий стан, а лазерні системи забезпечують визначення точних координат. У результаті формується значно більш повна інформаційна картина, ніж при використанні окремих сенсорів.

Особливе значення для сучасних безпілотних комплексів мають лазерні системи спостереження. Лазерні далекоміри забезпечують високоточне визначення відстані до об’єкта, а лазерні цілевказівники дозволяють здійснювати наведення високоточної зброї. У розвідувальних завданнях такі системи використовуються для уточнення координат виявлених об’єктів та підвищення точності геопросторової прив’язки результатів спостереження.

Окремим напрямом розвитку є використання радіолокаційних засобів спостереження. На відміну від оптичних систем, радіолокатори здатні функціонувати незалежно від освітлення та багатьох атмосферних явищ. Особливого поширення набувають компактні радіолокаційні станції із синтезованою апертурою антени, які забезпечують формування детальних

радіолокаційних зображень місцевості та дозволяють виявляти зміни у структурі поверхні навіть за відсутності прямої видимості.

В останні роки значного розвитку набули гіперспектральні сенсори. На відміну від традиційних камер, які формують зображення у декількох спектральних каналах, гіперспектральні системи здійснюють реєстрацію випромінювання у сотнях вузьких спектральних діапазонів. Це дозволяє визначати фізико-хімічні характеристики об'єктів та виявляти їх на основі спектральних ознак, які залишаються непомітними для звичайних оптичних систем. Для задач виявлення замаскованого особового складу такі технології створюють принципово нові можливості, оскільки дозволяють реєструвати непрямі ознаки присутності людини, пов'язані зі зміною структури рослинності, теплового режиму або характеристик поверхні.

Суттєвою особливістю сучасних засобів спостереження є широке використання автоматизованого аналізу зображень. Великі обсяги інформації, які надходять від багатоспектральних сенсорів, практично неможливо ефективно обробляти виключно силами операторів. У зв'язку з цим дедалі більшого значення набувають алгоритми комп'ютерного бачення та штучного інтелекту. Такі алгоритми здатні автоматично виявляти потенційні цілі, класифікувати їх за характерними ознаками, здійснювати супроводження та формувати попередження про виявлення підозрілих об'єктів.

Використання технологій машинного навчання істотно змінює саму концепцію повітряної розвідки. Якщо раніше оператор безпосередньо здійснював пошук цілей на відеозображенні, то сучасні системи дедалі частіше виконують попередню селекцію об'єктів автоматично. Це дозволяє значно скоротити час реагування, зменшити вплив людського фактора та підвищити загальну ефективність розвідувальних заходів.

З позицій дослідження результативності природного маскування особливий інтерес становить тенденція до інтеграції різнорідних сенсорів у межах єдиних багатоспектральних комплексів. Поєднання телевізійних, тепловізійних, лазерних та радіолокаційних засобів спостереження суттєво зменшує ефективність традиційних способів приховування особового складу, оскільки усунення демаскувальних ознак в одному спектральному діапазоні не гарантує їх відсутності в іншому. Саме тому сучасні підходи до природного маскування повинні враховувати комплексний характер спостереження та забезпечувати одночасне зниження візуальної, теплової та інших видів помітності.

Таким чином, сучасні засоби спостереження безпілотних авіаційних комплексів являють собою складні багатофункціональні системи, які поєднують різноманітні фізичні принципи отримання інформації про об'єкти та навколишнє середовище. Їх стрімкий розвиток призводить до постійного зростання можливостей повітряної розвідки щодо виявлення особового складу, що обумовлює необхідність удосконалення підходів до використання природного середовища як засобу зниження помітності розвідувальних підрозділів. Саме аналіз можливостей сучасних сенсорних систем створює наукове підґрунтя для подальшого дослідження закономірностей формування

демаскувальних ознак людини та оцінювання ефективності заходів природного маскування в умовах сучасного поля бою.

1.3. Демаскувальні ознаки особового складу

Ефективність застосування сучасних засобів повітряної розвідки безпосередньо залежить від можливості виявлення характерних ознак присутності людини на місцевості. Незважаючи на постійне вдосконалення засобів маскування, особовий склад у процесі виконання бойових завдань неминуче створює певні демаскувальні прояви, які можуть бути зафіксовані оптичними, інфрачервоними, радіотехнічними та іншими сенсорними системами. У сучасних умовах розвитку безпілотних авіаційних комплексів проблема виявлення таких ознак набула особливої актуальності, оскільки багатоспектральні системи спостереження забезпечують можливість одночасного контролю місцевості в різних діапазонах електромагнітного спектра та значно підвищують імовірність виявлення прихованих об'єктів.

Під демаскувальними ознаками особового складу доцільно розуміти сукупність характеристик, явищ і змін навколишнього середовища, які виникають унаслідок перебування або діяльності людини та можуть бути використані засобами розвідки для встановлення її місцезнаходження. Особливістю сучасного етапу розвитку засобів повітряного спостереження є поступовий перехід від пошуку безпосередньо людини до виявлення супутніх проявів її діяльності. У багатьох випадках саме непрямі ознаки стають первинним джерелом інформації для оператора безпілотного літального апарата або автоматизованої системи розпізнавання цілей.

Найбільш очевидними залишаються візуальні демаскувальні ознаки, які формуються у видимому діапазоні спектра. Людина є контрастним об'єктом відносно природного середовища завдяки своїм геометричним розмірам, характерним пропорціям тіла, особливостям руху та відмінностям кольорової гами спорядження від навколишнього фону. Навіть за використання сучасних маскувальних засобів повністю усунути контраст між об'єктом і фоном практично неможливо. Особливо помітними стають силуетні контури людини на відкритих ділянках місцевості, на фоні горизонту, снігового покриву, водної поверхні або однорідних ділянок рослинності. Важливу роль відіграє здатність людського зору та алгоритмів комп'ютерного аналізу зображень розпізнавати характерні геометричні форми навіть за низького рівня контрастності.

Суттєвим фактором демаскування є рух. Людська діяльність практично завжди супроводжується зміною просторового положення об'єкта, що значно полегшує його виявлення. Для систем відеоспостереження рухомий об'єкт вирізняється серед статичного фону набагато ефективніше, ніж нерухомий. Сучасні програмні комплекси автоматичного аналізу відеоданих широко використовують алгоритми виявлення змін у послідовності кадрів, що дозволяє визначати навіть короткочасні переміщення особового складу. Саме тому одним із базових принципів прихованого пересування є максимальне

скорочення часу перебування на відкритих ділянках та використання природних елементів місцевості для маскування руху.

Значну роль у процесі виявлення відіграють теплові демаскувальні ознаки. Організм людини постійно виробляє тепло внаслідок фізіологічних процесів, підтримуючи температуру тіла на рівні, що істотно перевищує температуру більшості природних об'єктів навколишнього середовища. У результаті формується характерний тепловий контраст, який може бути зафіксований тепловізійними сенсорами. Навіть за умов використання теплоізоляційного одягу повністю усунути теплове випромінювання неможливо, оскільки частина теплової енергії передається через поверхню одягу, а також через відкриті ділянки тіла, органи дихання та спорядження.

Особливістю теплового демаскування є його залежність від зовнішніх умов. У холодний період року температурна різниця між тілом людини та навколишнім середовищем зростає, що підвищує дальність виявлення тепловізійними системами. У теплу пору року контрастність зменшується, проте не зникає повністю. Крім безпосереднього теплового випромінювання людини, джерелом демаскування можуть виступати нагріті предмети спорядження, місця тривалого перебування особового складу, ділянки ґрунту, на яких залишилися теплові сліди після розміщення людей або техніки.

Важливим джерелом інформації для сучасних засобів повітряної розвідки є зміни природного середовища, викликані діяльністю людини. Переміщення особового складу призводить до витоптування рослинності, утворення стежок, зміни структури ґрунтового покриву, пошкодження чагарників і гілок дерев. Такі зміни можуть залишатися помітними протягом тривалого часу та виявлятися навіть після залишення району виконання завдання. З висоти польоту безпілотного літального апарата подібні порушення часто сприймаються як лінійні або локальні аномалії на однорідному фоні місцевості.

Окрему групу становлять слідові демаскувальні ознаки. До них належать сліди взуття, місця облаштування позицій, ознаки проведення інженерних робіт, зміни мікрорельєфу та інші прояви діяльності особового складу. Сучасні оптичні системи високої роздільної здатності здатні фіксувати подібні елементи навіть із значної висоти. Особливо виразними такі ознаки стають на сніговому покриві, піщаних ґрунтах або відкритих ділянках із низькою щільністю рослинності.

Суттєве значення мають тіньові ефекти. Будь-який об'єкт, розташований на місцевості, формує тінь, геометричні параметри якої залежать від положення сонця. У багатьох випадках саме тінь виявляється помітнішою за сам об'єкт. Для операторів безпілотних комплексів характерною практикою є аналіз зображень у ранкові або вечірні години, коли довжина тіней значно збільшується та сприяє виявленню прихованих об'єктів.

Розвиток алгоритмів автоматичного розпізнавання цілей суттєво змінив підходи до аналізу демаскувальних ознак. Якщо раніше основне навантаження покладалося на оператора, то нині значна частина первинного аналізу здійснюється програмними засобами. Нейромережеві алгоритми здатні одночасно оцінювати десятки параметрів зображення, визначати характерні

контури людини, аналізувати теплові аномалії, виявляти зміни рослинного покриву та встановлювати приховані закономірності, які залишаються непомітними для людини. Унаслідок цього навіть незначні демаскувальні прояви можуть бути використані для формування ознак цілі та подальшого її супроводження.

Особливістю сучасного поля бою є поєднання різнорідних сенсорних каналів у межах єдиної розвідувальної системи. Візуальні, теплові та просторові ознаки взаємно доповнюють одна одну, формуючи комплексний інформаційний образ об'єкта. Виявлення людини все рідше ґрунтується на окремій демаскувальній ознаці та все частіше стає результатом інтеграції декількох незалежних джерел інформації. Саме тому ефективність природного маскування визначається не усуненням окремого прояву, а комплексним зниженням усієї сукупності демаскувальних факторів.

Проведений аналіз свідчить, що демаскувальні ознаки особового складу мають багатокомпонентний характер і формуються внаслідок взаємодії фізіологічних особливостей людини, характеру її діяльності та властивостей навколишнього середовища. Розуміння механізмів виникнення таких ознак створює теоретичне підґрунтя для розроблення науково обґрунтованих заходів природного маскування та є необхідною передумовою побудови математичної моделі оцінювання їх результативності. Саме врахування закономірностей формування візуальних, теплових, слідових і поведінкових проявів дозволяє перейти від загальних рекомендацій щодо прихованого пересування до кількісного оцінювання впливу окремих факторів на ймовірність виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки.

1.4. Вплив природного середовища на можливість виявлення

Природне середовище є одним із визначальних чинників, які впливають на ефективність функціонування сучасних засобів повітряної розвідки та формують умови виявлення особового складу на полі бою. На відміну від технічних характеристик розвідувальних комплексів, які залишаються відносно стабільними протягом виконання завдання, параметри природного середовища характеризуються значною просторовою та часовою мінливістю. Саме тому одна й та сама людина, використовуючи однакове спорядження та виконуючи ідентичні дії, може бути виявлена на різних ділянках місцевості з абсолютно різною ймовірністю. Вивчення закономірностей впливу природного середовища на процес виявлення становить основу наукового обґрунтування заходів природного маскування та дозволяє перейти від інтуїтивного використання захисних властивостей місцевості до їх кількісного оцінювання.

У загальному розумінні природне середовище формує сукупність умов, які визначають контрастність об'єкта відносно навколишнього фону, впливають на поширення електромагнітного випромінювання, змінюють тепловий стан поверхонь і створюють природні перешкоди для функціонування засобів спостереження. Внаслідок цього ефективність виявлення особового складу залежить не лише від можливостей сенсорів безпілотних літальних апаратів, а

й від особливостей місцевості, рослинності, рельєфу, погодних умов та сезонних змін природного середовища.

Одним із найважливіших елементів природного середовища є рельєф місцевості. Форми земної поверхні визначають умови прямої видимості між засобом спостереження та об'єктом розвідки. Височини, схили, балки, яри, улоговини та інші елементи рельєфу здатні суттєво обмежувати можливості виявлення навіть за умови використання сучасних оптико-електронних систем. Особливе значення має взаємне розташування об'єкта і повітряного носія відносно елементів рельєфу. Навіть незначні нерівності поверхні можуть створювати локальні зони екранування, у межах яких особовий склад тимчасово стає недоступним для спостереження. Водночас перебування на відкритих вододілах, вершинах пагорбів або ділянках із плавними формами рельєфу значно підвищує ризик виявлення через відсутність природних укриттів.

Вплив рельєфу не обмежується лише механічним перекриттям лінії спостереження. Він також визначає характер освітлення місцевості, розподіл температурних полів, особливості розвитку рослинного покриву та умови формування локального мікроклімату. Схили різної експозиції отримують неоднакову кількість сонячної енергії, що призводить до утворення температурних контрастів, які можуть впливати на ефективність тепловізійного спостереження. У результаті одна й та сама ділянка місцевості протягом доби може змінювати свої маскувальні властивості залежно від положення сонця та характеру нагрівання поверхні.

Надзвичайно важливим фактором є рослинний покрив. Лісові масиви, чагарникові зарості, висока трав'яниста рослинність та інші природні об'єкти здатні істотно знижувати ймовірність виявлення особового складу. Захисні властивості рослинності пов'язані не лише з фізичним перекриттям огляду, а й зі створенням складного неоднорідного фону, на якому значно ускладнюється розпізнавання характерних ознак людини. Крони дерев формують багаторівневу структуру, що розсіює та частково поглинає випромінювання, а також створює численні світлотіньові ефекти, які знижують ефективність автоматизованих алгоритмів виявлення.

Особливу роль рослинність відіграє під час використання тепловізійних систем. Листя, гілки та стовбури дерев частково екранують теплове випромінювання людини, зменшуючи його контрастність на тепловізійному зображенні. Водночас ефективність такого екранування залежить від щільності насаджень, їхнього видового складу та сезонного стану. У літній період листяні насадження забезпечують значно вищий рівень прихованості порівняно з осінньо-зимовим сезоном, коли після опадання листя значна частина захисних властивостей втрачається. Хвойні ліси характеризуються більш стабільними маскувальними характеристиками протягом року, що обумовлює їх особливе значення для прихованого розміщення особового складу.

Значний вплив на можливість виявлення мають фізичні властивості поверхні місцевості. Колір, текстура, вологість, теплопровідність і теплоємність ґрунту визначають характер взаємодії поверхні з

електромагнітним випромінюванням. На однорідних відкритих поверхнях навіть незначні зміни кольору або структури покриву можуть привертати увагу оператора або алгоритмів автоматичного аналізу зображень. Натомість складна мозаїчна структура природних ландшафтів сприяє прихованню об'єктів за рахунок зменшення контрастності та ускладнення процесу виділення цілі на фоні місцевості.

Окрему групу факторів становлять метеорологічні умови. Атмосферні явища безпосередньо впливають на дальність і якість спостереження у видимому та інфрачервоному діапазонах спектра. Наявність туману, дощу, снігу або пилових завісів призводить до розсіювання та поглинання випромінювання, що знижує ефективність роботи оптичних сенсорів. У ряді випадків несприятливі погодні умови можуть суттєво скорочувати дальність виявлення, навіть якщо технічні характеристики засобів спостереження залишаються незмінними.

Особливо складним є вплив атмосферних факторів на тепловізійне спостереження. Водяна пара та аерозольні частинки змінюють прозорість атмосфери в інфрачервоному діапазоні, що може як зменшувати, так і спотворювати тепловий контраст об'єктів. Одночасно погодні умови впливають на температуру навколишніх поверхонь, змінюючи співвідношення між тепловим випромінюванням людини та фоном. У деяких випадках під час інтенсивного сонячного нагрівання відкритих ділянок місцевості тепловий контраст між людиною та навколишнім середовищем може істотно знижуватися, що ускладнює її виявлення.

Важливим компонентом природного середовища є освітленість місцевості. Зміна положення сонця протягом доби суттєво впливає на умови спостереження. У денний час головним джерелом інформації виступає відбиття сонячного випромінювання від поверхні об'єктів. У сутінках і вночі роль видимого діапазону зменшується, натомість зростає значення тепловізійних систем. При цьому умови виявлення визначаються не лише рівнем освітленості, а й напрямком падіння світла, довжиною тіней та характером розподілу яскравості на місцевості.

Сезонна мінливість природного середовища також суттєво впливає на можливість виявлення особового складу. Протягом року відбуваються зміни структури рослинності, кольорової гами ландшафтів, температурного режиму та характеристик поверхні. Весняний період характеризується поступовим розвитком рослинного покриву, літній — максимальним рівнем природного маскування, осінній — трансформацією кольорових характеристик рослинності, а зимовий — появою снігового покриву, який радикально змінює умови спостереження. Кожен із цих періодів створює специфічні умови для застосування засобів повітряної розвідки та потребує відповідної адаптації способів природного маскування [19]. Вплив мікроклімату, стану поверхні та сезонних змін середовища на параметри дистанційного спостереження розкрито у працях [78–80, 87–89].

Сучасний розвиток безпілотних авіаційних комплексів призвів до того, що природне середовище необхідно розглядати не як сукупність окремих

елементів, а як єдину взаємопов'язану систему. Рельєф визначає характер розвитку рослинності, рослинність впливає на тепловий режим поверхні, погодні умови змінюють оптичні властивості атмосфери, а сезонні процеси одночасно трансформують усі складові природного ландшафту. У результаті ефективність виявлення формується під впливом комплексної взаємодії багатьох факторів, кожен із яких може посилювати або послаблювати дію інших.

Проведений аналіз свідчить, що природне середовище є не пасивним фоном, на якому здійснюється діяльність особового складу, а активним чинником, який визначає результативність функціонування сучасних засобів повітряної розвідки. Саме особливості рельєфу, рослинного покриву, фізичних властивостей поверхні, метеорологічних умов та сезонної динаміки формують умови спостереження і значною мірою визначають імовірність виявлення людини. Усвідомлення цих закономірностей створює необхідне теоретичне підґрунтя для подальшого кількісного оцінювання впливу окремих природних факторів та розроблення математичної моделі результативності природного маскування, яка дозволяє прогнозувати ефективність використання природного середовища в інтересах прихованих дій розвідувальних підрозділів.

1.5. Аналіз існуючих способів природного маскування

Природне маскування протягом багатьох століть залишається одним із найбільш ефективних способів підвищення прихованості військ. Його сутність полягає у використанні властивостей навколишнього середовища для зниження ймовірності виявлення особового складу, озброєння та військової техніки засобами спостереження противника. На відміну від штучних засобів маскування, природне маскування не потребує значних матеріальних ресурсів, може застосовуватися приховано та забезпечує тривалий ефект за умови правильного використання особливостей місцевості.

Історичний досвід ведення бойових дій свідчить, що ефективність природного маскування безпосередньо залежить від здатності особового складу використовувати захисні властивості рельєфу, рослинності та інших природних об'єктів. Ще в період до появи авіаційної розвідки командири прагнули організовувати пересування військ прихованими маршрутами, використовувати складки місцевості для розміщення резервів та уникати перебування на відкритих ділянках. Із розвитком засобів спостереження роль природного середовища не зменшилася, а навпаки істотно зросла.

Особливої актуальності природне маскування набуло після широкого впровадження безпілотних авіаційних комплексів. Сучасні оптико-електронні системи дозволяють здійснювати спостереження на значних відстанях, забезпечують багатоспектральний контроль місцевості та створюють можливість цілодобового виявлення цілей. За таких умов навіть короткочасне перебування особового складу на відкритій місцевості може призвести до його виявлення та подальшого вогневого ураження. У зв'язку з цим природне

маскування розглядається не як допоміжний захід, а як один із базових елементів забезпечення живучості розвідувальних підрозділів.

Одним із найбільш поширених способів природного маскування є використання захисних властивостей рельєфу. Форми земної поверхні створюють природні перешкоди для прямого спостереження та дозволяють суттєво знижувати ефективність роботи засобів повітряної розвідки. Найбільшу цінність у цьому відношенні мають балки, яри, улоговини, складки місцевості, схили висот та інші нерівності рельєфу, які формують зони екранування. Під час розташування особового складу в межах таких ділянок значно зменшується ймовірність його виявлення телевізійними системами спостереження, а також знижується контрастність теплових зображень.

Не менш важливим фактором є використання рослинного покриву. Лісові масиви, чагарники, лісосмуги, окремі дерева та інші елементи рослинності формують складне середовище для роботи оптичних і тепловізійних сенсорів. Наявність багатоярусної структури рослинності створює ефект фрагментації зображення, ускладнює автоматичне розпізнавання цілей та зменшує дальність їх виявлення. Додатковою перевагою є часткове екранування теплового випромінювання людини, що особливо важливо під час протидії тепловізійним системам [12]. Принципи формування кольорового і текстурного маскування, а також біологічні закономірності крипсису наведено у працях [44–46, 48–58, 90–96].

Значний потенціал прихованості створює використання природних тіней. В умовах сонячного освітлення тіньові ділянки характеризуються нижчим рівнем контрастності та меншою помітністю об'єктів на фоні навколишнього середовища. Розташування особового складу в тінях дерев, схилів або інших природних об'єктів дозволяє істотно зменшити ймовірність його візуального виявлення. Водночас ефективність такого способу значною мірою залежить від положення сонця, пори року та особливостей місцевості.

Окрему групу способів природного маскування становить використання метеорологічних умов. Туман, дощ, снігопад, серпанок та низька хмарність суттєво погіршують характеристики оптичних систем спостереження. У ряді випадків такі умови можуть знижувати дальність виявлення цілей у декілька разів. Разом із тим сучасні тепловізійні системи значною мірою компенсують вплив несприятливих погодних факторів, що обмежує можливості використання лише метеорологічного маскування.

Особливого значення в сучасних умовах набуває використання теплових властивостей природного середовища. Температурний контраст між людиною та навколишнім фоном є одним із головних факторів виявлення тепловізійними системами. Тому ефективність природного маскування значною мірою визначається здатністю місцевості зменшувати або спотворювати теплову сигнатуру особового складу. Найкращі результати досягаються в умовах складного температурного фону, характерного для густої рослинності, кам'янистих ділянок місцевості та зон із нерівномірним нагріванням поверхні.

Аналіз сучасного бойового досвіду свідчить, що найбільшої ефективності вдається досягти не шляхом використання окремих способів природного

маскування, а завдяки їх комплексному поєднанню. Раціональне використання рельєфу, рослинності, тіньових зон і погодних умов дозволяє створювати багаторівневий захист від різних каналів спостереження. При цьому результативність маскування значною мірою залежить від дисципліни особового складу, правильності вибору маршруту пересування та здатності адаптувати свою поведінку до особливостей навколишнього середовища.

Незважаючи на значну кількість наукових праць і практичних рекомендацій, більшість існуючих методик оцінювання ефективності природного маскування мають переважно описовий характер. У науковій літературі детально розглядаються окремі фактори прихованості, проте відсутні універсальні кількісні підходи, які дозволяли б комплексно враховувати вплив природних і поведінкових чинників на ймовірність виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Існуючі оцінки зазвичай базуються на експертних судженнях або результатах локальних експериментів, що суттєво обмежує можливості їх практичного застосування для прогнозування результативності маскування.

Проведений аналіз показує, що сучасний рівень розвитку засобів повітряної розвідки потребує переходу від якісного опису маскувальних властивостей місцевості до кількісного оцінювання їх впливу на процес виявлення особового складу. Саме ця обставина обумовлює необхідність розроблення математичної моделі результативності природного маскування, яка дозволить інтегрувати характеристики природного середовища, особливості діяльності особового складу та можливості засобів повітряної розвідки в єдину систему оцінювання. Такий підхід створює передумови для науково обґрунтованого прогнозування рівня прихованості розвідувальних підрозділів та підвищення ефективності їх дій у сучасних умовах ведення бойових дій.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз сучасного стану розвитку засобів повітряної розвідки засвідчив, що характер збройної боротьби зазнав суттєвих змін під впливом стрімкого поширення безпілотних авіаційних комплексів, оснащених високоефективними оптико-електронними засобами спостереження. Сучасні розвідувальні системи забезпечують безперервний моніторинг місцевості, оперативне виявлення цілей та передачу розвідувальної інформації в режимі реального часу, що істотно підвищує можливості противника щодо контролю поля бою. Особливої ефективності засоби повітряної розвідки досягають завдяки інтеграції телевізійних, тепловізійних та багатоспектральних сенсорів, які дозволяють здійснювати пошук особового складу незалежно від часу доби та значної частини метеорологічних обмежень. Унаслідок цього проблема забезпечення прихованості розвідувальних підрозділів набуває винятково важливого значення та потребує пошуку нових підходів до організації маскування.

Дослідження особливостей функціонування сучасних засобів спостереження показало, що ефективність виявлення особового складу визначається не лише технічними характеристиками безпілотних авіаційних комплексів, але й сукупністю факторів, пов’язаних із контрастністю об’єкта спостереження відносно навколишнього фону. Використання високороздільних телевізійних камер, тепловізійних систем із низькими значеннями температурної чутливості та засобів автоматизованого розпізнавання цілей створює умови, за яких навіть незначні демаскувальні ознаки можуть бути достатніми для виявлення людини. При цьому ефективність роботи сенсорів суттєво залежить від особливостей природного середовища, що підтверджує доцільність дослідження природних факторів як одного з основних елементів забезпечення прихованості.

У результаті аналізу демаскувальних ознак особового складу встановлено, що процес виявлення людини сучасними засобами повітряної розвідки має комплексний характер і формується під впливом візуальних, теплових, просторових та поведінкових характеристик. Найбільшу небезпеку становлять ознаки, які можуть бути зафіксовані одночасно декількома каналами спостереження. Виявлено, що рівень помітності особового складу значною мірою залежить від особливостей його діяльності, характеру переміщення, тривалості перебування на відкритій місцевості та здатності адаптувати власну поведінку до умов навколишнього середовища. Це свідчить про необхідність комплексного врахування не лише природних, а й поведінкових факторів під час оцінювання результативності маскування.

Проведене дослідження впливу природного середовища на можливість виявлення дозволило встановити, що природні умови здатні істотно змінювати характеристики спостереження як у видимому, так і в інфрачервоному спектральних діапазонах. Встановлено, що рельєф місцевості формує зони екранування та обмежує пряме спостереження, рослинність створює складний просторовий фон і знижує ефективність автоматизованого розпізнавання цілей, а температурні властивості поверхні безпосередньо впливають на рівень теплового контрасту між людиною та навколишнім середовищем. Водночас погодні фактори можуть як підвищувати, так і знижувати ефективність роботи засобів повітряної розвідки залежно від конкретних умов їх застосування. Отримані результати підтверджують, що природне середовище є активним елементом процесу маскування, а не лише фоном, на якому здійснюється діяльність особового складу.

Аналіз існуючих способів природного маскування показав, що найбільший ефект досягається за рахунок комплексного використання захисних властивостей рельєфу, рослинного покриву, природних тіней і температурних особливостей місцевості. Разом із тим встановлено, що більшість наявних рекомендацій ґрунтується переважно на практичному досвіді та якісному описі окремих способів приховування. Сучасні наукові підходи не забезпечують достатньо повного кількісного оцінювання впливу природних і поведінкових факторів на ймовірність виявлення особового складу засобами повітряної

розвідки. Це суттєво обмежує можливості прогнозування ефективності природного маскування під час планування бойових дій.

Узагальнення результатів проведеного аналізу дозволяє зробити висновок, що забезпечення прихованості розвідувальних підрозділів в умовах широкого застосування безпілотних авіаційних комплексів потребує переходу від переважно описових підходів до науково обґрунтованих кількісних методів оцінювання. Встановлено, що результативність природного маскування формується внаслідок складної взаємодії характеристик природного середовища, особливостей діяльності особового складу та можливостей сучасних засобів повітряної розвідки. Виявлені закономірності свідчать про необхідність розроблення інтегральної математичної моделі, яка дозволить кількісно оцінювати вплив зазначених факторів на рівень прихованості особового складу та прогнозувати ефективність використання природного середовища під час виконання розвідувальних завдань.

Таким чином, результати досліджень, наведені у першому розділі, створили необхідне теоретичне та науково-методичне підґрунтя для подальшого формування системи показників оцінювання, обґрунтування структури математичної моделі результативності природного маскування та розроблення методичного апарату її експериментальної перевірки. Саме встановлені в розділі закономірності визначають логіку подальших досліджень і забезпечують наукову основу для вирішення основного завдання роботи — підвищення прихованості особового складу розвідувальних підрозділів шляхом раціонального використання властивостей природного середовища.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТА КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ

2.1. Аналіз існуючих підходів до оцінювання прихованості

Ефективність прихованого виконання завдань розвідувальними підрозділами безпосередньо залежить від великої кількості взаємопов’язаних чинників, які визначають ймовірність виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Результати аналізу наукових джерел, узагальнення досвіду сучасних воєнних конфліктів та особливостей застосування безпілотних авіаційних комплексів свідчать про те, що процес виявлення не може розглядатися як наслідок впливу окремого демаскувального фактору. У реальних умовах він формується під впливом складної сукупності природних, технічних, організаційних та поведінкових характеристик, які взаємодіють між собою та визначають загальний рівень інформаційної помітності особового складу.

Необхідність класифікації факторів обумовлена потребою створення математичної моделі, здатної забезпечити кількісне оцінювання результативності природного маскування. Будь-яка модель, що претендує на практичне використання, повинна спиратися на впорядковану систему вхідних параметрів. Відсутність такої систематизації призводить до надмірної складності моделі або, навпаки, до втрати суттєвих залежностей між окремими параметрами. Саме тому одним із ключових завдань дослідження є визначення структури факторного простору, в межах якого відбувається формування умов виявлення особового складу.

Аналіз сучасних засобів повітряної розвідки показує, що процес виявлення людини базується на реєстрації певних фізичних ознак, які відрізняють її від навколишнього середовища. Такі ознаки можуть проявлятися у видимому, ближньому інфрачервоному, тепловому та радіолокаційному діапазонах. Незалежно від принципу роботи сенсора основою виявлення залишається наявність контрасту між об’єктом спостереження та фоном. Чим більшим є цей контраст, тим вищою стає ймовірність виявлення. Відповідно фактори, що впливають на можливість виявлення, необхідно розглядати через їх здатність змінювати просторовий, спектральний, тепловий або часовий контраст між особовим складом і навколишнім середовищем [17]. Методичні підходи до кількісного оцінювання ефективності маскування та зниження помітності наведено у працях [36–40].

Проведений аналіз дозволив встановити, що всі фактори доцільно об’єднати у дві основні групи: природні та поведінкові. Таке групування найбільш повно відповідає сутності дослідження та забезпечує можливість подальшого математичного опису процесу природного маскування.

До природних факторів належать характеристики навколишнього середовища, які існують незалежно від дій особового складу та формують природний рівень прихованості місцевості. Їх вплив визначається особливостями рельєфу, рослинного покриву, властивостями поверхні та

поточними метеорологічними умовами. Саме природні фактори створюють фізичне середовище, у межах якого відбувається діяльність розвідувального підрозділу та реалізуються заходи природного маскування.

Одним із найважливіших природних факторів є рельєф місцевості. Форми рельєфу визначають можливість прямої видимості між засобом спостереження та об'єктом виявлення, впливають на геометрію огляду, створюють природні укриття та зони радіолокаційної і оптичної тіні. Наявність ярів, балок, схилів, складок місцевості та інших нерівностей істотно знижує ймовірність виявлення особового складу навіть за умови використання сучасних високоточних сенсорів. Водночас рівнинна відкрита місцевість практично не створює природних перешкод для спостереження та характеризується найвищими значеннями ймовірності виявлення.

Не менш важливим компонентом природного середовища є рослинний покрив. Його вплив визначається щільністю, висотою, видовим складом і просторовою структурою рослинності. Лісові масиви, чагарники, лісосмуги та інші форми рослинного покриву виконують функцію природних екранів, які обмежують можливості візуального спостереження та ускладнюють автоматичне розпізнавання цілей. Водночас рослинність здатна змінювати тепловий фон місцевості, що також впливає на ефективність тепловізійних засобів спостереження.

Суттєвий вплив на можливість виявлення мають фізичні характеристики поверхні. Колір, текстура, ступінь вологості та теплові властивості ґрунту визначають рівень контрастності об'єкта спостереження відносно навколишнього середовища. Особливо важливим цей фактор стає під час використання тепловізійних сенсорів, оскільки різні типи поверхонь мають неоднакову теплову інерційність та по-різному накопичують і віддають теплову енергію.

Окрему групу природних факторів утворюють метеорологічні умови. Температура повітря, відносна вологість, швидкість вітру, інтенсивність сонячного випромінювання, атмосферна прозорість та стан хмарності безпосередньо впливають на формування контрасту між особовим складом і навколишнім середовищем. Особливо значущим цей вплив є для тепловізійних систем, ефективність яких визначається температурною різницею між об'єктом і фоном. Зміна погодних умов здатна суттєво змінювати дальність виявлення навіть за незмінних характеристик сенсорів.

Друга група факторів охоплює поведінкові характеристики діяльності особового складу. На відміну від природних умов вони можуть контролюватися та змінюватися безпосередньо виконавцями завдання. Саме ця група факторів визначає можливість практичного впливу на рівень власної помітності шляхом реалізації заходів природного маскування.

Важливе значення має характер руху особового складу. Рухомі об'єкти значно легше виявляються як людиною-оператором, так і автоматизованими системами обробки відеоданих. Зміна положення людини створює часовий контраст, який суттєво підвищує ймовірність виявлення навіть за умов низької візуальної помітності. Тому вибір режиму пересування, швидкості руху та

характеру зміни позицій є одним із ключових елементів природного маскування.

Істотний вплив має також вибір маршруту пересування. Використання складок місцевості, зон затінення, лісових масивів та інших природних укриттів дозволяє суттєво зменшити можливість спостереження з повітря. Водночас пересування відкритими ділянками різко збільшує ризик виявлення незалежно від інших факторів.

Значущим елементом поведінкової складової є час перебування на відкритих позиціях. Тривале перебування в зоні потенційного спостереження збільшує імовірність контакту із засобами повітряної розвідки та створює додаткові можливості для накопичення інформації про об’єкт. Скорочення тривалості перебування на відкритій місцевості є одним із найбільш ефективних способів зниження ризику виявлення.

Окрему роль відіграє дисципліна маскування. Вона охоплює дотримання правил використання природних укриттів, мінімізацію демаскувальних дій, обмеження необґрунтованої активності та раціональне використання захисних властивостей місцевості. Практика сучасних бойових дій переконливо свідчить, що навіть сприятливі природні умови не забезпечують належного рівня прихованості за відсутності належної дисципліни маскування.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що можливість виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки формується внаслідок одночасного впливу двох взаємодоповнювальних груп факторів. Природне середовище створює потенційні умови прихованості, тоді як поведінка особового складу визначає ступінь реалізації цих можливостей у конкретній тактичній ситуації. Саме така структура факторного простору створює необхідні передумови для подальшого формування математичної моделі оцінювання результативності природного маскування, у якій природна та поведінкова складові можуть бути формалізовані у вигляді окремих взаємопов’язаних коефіцієнтів.

2.2. Вибір основного показника результативності

Однією з ключових наукових проблем під час дослідження ефективності природного маскування особового складу є обґрунтований вибір показника, який дозволяє кількісно оцінити досягнутий результат та забезпечити можливість подальшого математичного моделювання. Від правильності вибору такого показника залежить не лише достовірність отриманих висновків, але й можливість практичного застосування результатів дослідження під час планування дій розвідувальних підрозділів. Саме тому визначення основного критерію оцінювання результативності природного маскування є одним із центральних етапів побудови науково-методичного апарату дослідження [21].

Аналіз існуючих підходів до оцінювання прихованості показує, що у більшості випадків дослідники використовують окремі характеристики місцевості, параметри рослинного покриву, коефіцієнти оглядовості або експертні оцінки ступеня маскувальних властивостей території. Подібні

показники дозволяють характеризувати окремі аспекти природного середовища, проте не відображають кінцевий результат застосування заходів маскування. Навіть за наявності сприятливого рельєфу, густої рослинності та складних погодних умов особовий склад може бути виявлений через неправильну організацію діяльності, помилки у виборі маршруту або порушення дисципліни маскування. Водночас у менш сприятливих природних умовах грамотне використання особливостей місцевості здатне суттєво знизити ризик виявлення. Це свідчить про те, що показник результативності повинен характеризувати не окремі фактори, а кінцевий ефект їх спільного впливу.

Сучасні засоби повітряної розвідки функціонують з єдиною практичною метою — виявлення об'єктів спостереження та отримання інформації про їх місцезнаходження. Незалежно від типу сенсорів, висоти польоту безпілотного літального апарата, способу обробки інформації чи рівня автоматизації систем розпізнавання результат їх роботи зрештою зводиться до факту виявлення або невиявлення особового складу. Саме тому найбільш об'єктивним критерієм оцінювання ефективності природного маскування є зміна ймовірності виявлення людини засобами повітряної розвідки.

Ймовірність виявлення має принципову перевагу над більшістю альтернативних показників, оскільки безпосередньо відображає кінцевий результат взаємодії між особовим складом, природним середовищем та засобами спостереження противника. На відміну від окремих параметрів місцевості чи характеристик рослинності вона інтегрує вплив усіх факторів, що беруть участь у формуванні процесу виявлення. Таким чином, використання ймовірності виявлення дозволяє перейти від описового аналізу до кількісного оцінювання ефективності природного маскування.

Разом із тим сама по собі ймовірність виявлення не може бути використана як основний інтегральний показник результативності. Це пояснюється тим, що її абсолютне значення значною мірою залежить від конкретних умов проведення експерименту. Зміна типу місцевості, погодних умов, висоти польоту безпілотного літального апарата або характеристик сенсорів може суттєво впливати на величину ймовірності виявлення навіть за незмінної ефективності заходів маскування. Унаслідок цього безпосереднє порівняння абсолютних значень ймовірності виявлення, отриманих у різних умовах, не забезпечує достатньо коректної оцінки результатів.

Для усунення зазначеного недоліку доцільно використовувати не абсолютне значення ймовірності виявлення, а відносну зміну цього показника після реалізації комплексу заходів природного маскування. Такий підхід дозволяє оцінювати не сам рівень виявлення, а ефект, досягнутий у результаті використання природного середовища та відповідної організації діяльності особового складу.

У межах даного дослідження для кожної серії експериментів визначаються дві величини. Перша характеризує базову ймовірність виявлення особового складу за відсутності спеціально організованих заходів природного маскування. Друга характеризує ймовірність виявлення після реалізації

комплексу заходів природного маскування. Порівняння цих величин дозволяє безпосередньо оцінити результативність застосованих заходів.

З огляду на зазначене як основний показник результативності природного маскування у даній роботі запропоновано використовувати коефіцієнт результативності, який характеризує відносне зменшення ймовірності виявлення особового складу внаслідок використання природного середовища та дотримання вимог маскування. Математично цей показник визначається як частка зниження початкової ймовірності виявлення відносно її базового значення.

Важливою перевагою запропонованого показника є його придатність для подальшого математичного моделювання. Оскільки результативність природного маскування формується під впливом великої кількості факторів, інтегральний коефіцієнт може бути представлений як функція природної та поведінкової складових. Це створює можливість побудови математичної моделі, яка дозволяє не лише аналізувати результати вже проведених експериментів, але й прогнозувати ефективність заходів природного маскування ще на етапі підготовки до виконання бойових завдань.

Особливого значення набуває той факт, що запропонований показник безпосередньо пов'язаний із практичними завданнями забезпечення живучості особового складу. На відміну від багатьох традиційних характеристик маскувальних властивостей місцевості він дозволяє оцінювати реальний вплив природного середовища на можливість виявлення людини сучасними безпілотними авіаційними комплексами. Саме тому коефіцієнт результативності може розглядатися як універсальний критерій оцінювання ефективності природного маскування в умовах сучасної збройної боротьби.

З позицій прикладного застосування коефіцієнт результативності дозволяє перейти від якісної оцінки місцевості до кількісного прогнозування прихованості розвідувального підрозділу. Командир отримує можливість порівнювати різні варіанти маршрутів висування, районів розташування спостережних постів, режимів діяльності та способів використання природного середовища за єдиним числовим критерієм.

Для практичного використання моделі доцільно встановити інтерпретацію отриманих значень коефіцієнта (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Інтерпретація коефіцієнта результативності природного маскування

Значення $K_{рез}$	Характеристика результативності	Ймовірність успішного приховання
0,00–0,20	Незадовільна	Дуже низька
0,21–0,40	Низька	Недостатня
0,41–0,60	Задовільна	Середня
0,61–0,80	Висока	Висока
0,81–1,00	Дуже висока	Максимально можлива

Таким чином, проведений аналіз показав, що найбільш обґрунтованим основним показником результативності природного маскування є відносне зменшення ймовірності виявлення особового складу засобами повітряної розвідки. Використання такого підходу дозволяє врахувати сукупний вплив природних і поведінкових факторів, забезпечує можливість кількісного порівняння різних умов експерименту, створює основу для побудови математичної моделі та забезпечує безпосередній зв'язок між результатами дослідження і практичними завданнями підвищення прихованості розвідувальних підрозділів.

2.3. Формування системи часткових показників

Побудова науково обґрунтованої методики оцінювання результативності природного маскування неможлива без формування системи часткових показників, які відображають окремі аспекти процесу приховування особового складу від засобів повітряної розвідки. Будь-яке складне явище, що формується під впливом великої кількості взаємопов’язаних факторів, не може бути адекватно описане одним узагальненим параметром без попереднього аналізу його структурних складових. Саме тому розроблення математичної моделі результативності природного маскування потребує переходу від загального поняття прихованості до системи окремих показників, кожен із яких характеризує певний механізм впливу на ймовірність виявлення особового складу.

Особливістю сучасного середовища ведення бойових дій є те, що процес виявлення людини засобами повітряної розвідки формується внаслідок одночасної взаємодії природних умов, технічних можливостей сенсорних систем та особливостей поведінки особового складу. При цьому одна й та сама ділянка місцевості може забезпечувати різний рівень прихованості залежно від характеру діяльності військовослужбовців, а однакові дії особового складу можуть мати різну ефективність маскування залежно від властивостей навколишнього природного середовища. Така взаємозалежність обумовлює необхідність виділення окремих груп факторів із подальшим визначенням відповідних часткових показників.

Аналіз закономірностей функціонування сучасних безпілотних авіаційних комплексів показує, що найбільший вплив на можливість виявлення особового складу здійснюють дві великі групи факторів.

Перша група пов’язана з природними властивостями місцевості, які можуть як ускладнювати, так і полегшувати роботу засобів спостереження.

У межах проведеного дослідження встановлено, що природна складова прихованості формується не окремими елементами місцевості, а їх сукупною дією на процес спостереження. Вплив природного середовища проявляється через особливості рельєфу, характер рослинного покриву, маскувальні властивості місцевих предметів та метеорологічні умови. Кожен із зазначених факторів змінює умови функціонування оптичних і тепловізійних систем

повітряної розвідки, впливаючи на дальність спостереження, контрастність об'єкта та можливість його ідентифікації.

З огляду на це до складу природної складової доцільно включити показник впливу рельєфу місцевості $K_р$, який характеризує ступінь використання природних форм земної поверхні для обмеження прямої видимості та зменшення секторів огляду засобів повітряної розвідки. Значення цього показника визначається особливостями вертикального розчленування місцевості, наявністю складок рельєфу, ярів, балок, висот та інших елементів, здатних створювати екранувальний ефект.

Другим складником природної групи є показник рослинного покриву $K_в$, який відображає вплив деревної, чагарникової та трав'яної рослинності на можливість виявлення особового складу. Рослинність виконує функцію природного екрану для оптичних засобів спостереження та частково знижує ефективність тепловізійного контролю за рахунок створення неоднорідного температурного фону.

Суттєве значення має також показник використання місцевих предметів $K_м$, який характеризує ступінь маскувального впливу природних та штучних об'єктів місцевості. До таких об'єктів належать окремі дерева, кам'янисті утворення, природні заглиблення, повалені стовбури дерев, лісові масиви, берегові укоси та інші елементи, здатні знижувати помітність людини під час повітряного спостереження.

Окремим фактором природної складової виступають погодні умови, які характеризуються коефіцієнтом $K_п$. Вплив метеорологічних факторів проявляється через зміну прозорості атмосфери, рівня освітленості, температурного контрасту між людиною та навколишнім середовищем, а також через виникнення природних перешкод для роботи оптичних і тепловізійних систем спостереження. Наявність туману, опадів, високої вологості повітря або значної хмарності може суттєво змінювати ефективність повітряної розвідки навіть за незмінних інших умов.

Тому, інтегральний коефіцієнт природного маскування визначається як

$$K_{пр} = \omega_1 K_р + \omega 2\, K_в + \omega 3\, K_м + \omega 4\, K_п, \qquad (1)$$

де

$K_р$ — коефіцієнт рельєфного маскування;

$K_в$ — коефіцієнт рослинного покриву;

$K_м$ — коефіцієнт метеорологічних умов;

$K_п$ — коефіцієнт властивостей поверхні;

ω_i — вагові коефіцієнти.

При цьому $\sum_{i=1}^{4} \omega_i = 1$.

Друга група визначається особливостями поведінки особового складу під час виконання бойових завдань і характеризує ступінь реалізації потенційних маскувальних можливостей природного середовища.

Поряд із природними чинниками значний вплив на результативність маскування здійснює поведінкова складова. Аналіз матеріалів бойового досвіду свідчить, що навіть за сприятливих природних умов особовий склад може втратити переваги прихованого розташування через помилки під час виконання завдань. Саме тому оцінювання ефективності природного маскування повинно враховувати не лише характеристики місцевості, а й якість дій військовослужбовців.

До системи поведінкових показників включено коефіцієнт дисципліни маскування $K_д$, який характеризує ступінь дотримання встановлених вимог щодо прихованого виконання завдань. Його значення відображає рівень виконання правил маскування, недопущення демаскувальних дій та своєчасне реагування на зміни обстановки.

Важливим елементом поведінкової складової є показник психологічної стійкості $K_{пс}$, який характеризує здатність особового складу підтримувати необхідний рівень прихованості в умовах фізичного навантаження, стресу та впливу бойових факторів. Практика бойового застосування свідчить, що саме психоемоційний стан часто визначає якість виконання вимог маскування.

До складу поведінкових показників також включено коефіцієнт режиму діяльності $K_{рд}$, що відображає ступінь відповідності характеру виконуваних дій вимогам прихованого пересування та розташування. Його значення залежить від інтенсивності руху, тривалості перебування на відкритих ділянках та особливостей організації роботи особового складу.

Окремо враховується коефіцієнт часу діяльності $K_{чд}$, який характеризує вплив добового циклу на прихованість особового складу. Вибір часу виконання завдань суттєво впливає на ефективність засобів повітряної розвідки через зміну освітленості, температурного режиму навколишнього середовища та умов функціонування тепловізійних систем.

Завершальним елементом поведінкової складової виступає коефіцієнт демаскувальних проявів $K_{дм}$, який характеризує рівень виникнення ознак, що можуть бути використані для виявлення особового складу. До таких ознак належать нераціональні переміщення, порушення маскувальної дисципліни, необґрунтоване використання технічних засобів, утворення теплових контрастів та інші дії, здатні привернути увагу операторів засобів повітряної розвідки.

Інтегральний коефіцієнт поведінкової складової визначається рівнянням

$$K_{пов} = \upsilon_1 K_д + \upsilon_2 K_{пс} + \upsilon_3 K_{рд} + \upsilon_4 K_{чд} + \upsilon_5 K_{дм}, \quad (2)$$

де

$K_д$ — коефіцієнт демаскувальної діяльності;

$K_{пс}$ — коефіцієнт способу пересування;

$K_{рд}$ — коефіцієнт режиму діяльності;

$K_{чд}$ — коефіцієнт часової динаміки;

$K_{дм}$ — коефіцієнт дисципліни маскування.

Виконується умова $\sum_{i=1}^{5} \upsilon_i = 1$.

Сформована система часткових показників забезпечує комплексне охоплення основних факторів, які визначають рівень прихованості особового складу в умовах сучасного повітряного спостереження. Її структура дозволяє перейти від якісного опису природного маскування до кількісного оцінювання ефективності окремих складових із подальшим інтегруванням результатів у єдиний показник результативності. Такий підхід створює методологічну основу для побудови математичної моделі, проведення експериментальних досліджень та подальшого визначення вагового внеску кожного фактора у формування загального рівня прихованості особового складу.

2.4. Обґрунтування структури інтегрального показника

Оцінювання результативності природного маскування особового складу в сучасних умовах потребує використання такого інтегрального показника, який би забезпечував узагальнення впливу великої кількості різнорідних факторів у межах єдиного кількісного критерію. Необхідність формування такого показника обумовлена складністю самого процесу приховування, оскільки можливість виявлення особового складу засобами повітряної розвідки визначається не окремими характеристиками місцевості або особливостями поведінки військовослужбовців, а результатом їх одночасної взаємодії. У реальних умовах виконання завдань жоден фактор не діє ізольовано. Навіть найбільш сприятливі природні умови не гарантують високого рівня прихованості у випадку порушення дисципліни маскування, так само як бездоганні дії особового складу не здатні повністю компенсувати несприятливі особливості місцевості.

Аналіз закономірностей функціонування сучасних засобів повітряної розвідки показує, що процес виявлення людини формується як результат накопичення ознак, які можуть бути зафіксовані оптичними, тепловізійними або багатоспектральними сенсорами. Кожний фактор природного середовища або діяльності особового складу впливає на рівень прояву таких ознак, змінюючи загальну ймовірність виявлення. При цьому зниження помітності за одним напрямом не означає автоматичного усунення інших демаскувальних проявів. Саме тому інтегральний показник повинен враховувати взаємозалежний характер формування прихованості та відображати сукупний вплив усіх складових процесу маскування.

Проведений аналіз наукових праць, присвячених математичному моделюванню складних багатофакторних процесів, свідчить про існування кількох основних підходів до побудови інтегральних критеріїв. Найпростішим із них є адитивна модель, у якій загальний показник визначається як сума окремих складових із відповідними ваговими коефіцієнтами. Перевагою такого підходу є простота розрахунків та інтерпретації результатів. Водночас адитивні моделі мають суттєвий недолік, що полягає у можливості повної компенсації негативного впливу одного фактора надмірно високими значеннями інших факторів. У контексті оцінювання природного маскування така властивість є

методологічно некоректною, оскільки критичне погіршення хоча б одного з факторів здатне істотно збільшити ймовірність виявлення незалежно від стану інших складових.

Альтернативним підходом є використання мультиплікативних моделей, у яких інтегральний результат формується шляхом перемноження окремих коефіцієнтів. Такі моделі широко застосовуються під час оцінювання надійності технічних систем, визначення ризиків, моделювання складних соціотехнічних процесів та аналізу ефективності багатофакторних заходів. Їх головною перевагою є здатність враховувати взаємозалежний характер складових системи. У випадку природного маскування це означає, що зниження ефективності однієї складової автоматично призводить до зменшення загального результату незалежно від значень інших параметрів. Саме така властивість найбільш повно відповідає реальним умовам функціонування системи приховування особового складу.

Проведений у попередніх підрозділах аналіз дозволив встановити, що всі фактори, які впливають на результативність природного маскування, можуть бути об'єднані у дві великі групи. Перша група охоплює характеристики природного середовища та відображає потенційні можливості місцевості щодо зниження помітності особового складу. До неї належать особливості рельєфу, властивості рослинного покриву, метеорологічні умови та параметри природних укриттів. Друга група пов'язана з діяльністю особового складу та характеризує ступінь реалізації потенціалу природного середовища шляхом правильного виконання заходів маскування.

Результати натурних спостережень свідчать, що однакові ділянки місцевості можуть демонструвати принципово різну ефективність приховування залежно від характеру дій особового складу. Аналогічно однакові способи діяльності можуть забезпечувати різний рівень прихованості в різних природних умовах. Це підтверджує взаємозалежність природної та поведінкової складових та свідчить про неможливість їх незалежного розгляду під час формування інтегрального показника.

З огляду на фізичну природу процесу маскування результативність доцільно визначати як функцію двох інтегральних складових

$$K_{рез} = f\left(K_{пр},\ K_{пов}\right), \tag{3}$$

де:

$K_{рез}$ — коефіцієнт результативності проведення заходів природного маскування;

$K_{пр}$ — інтегральний коефіцієнт природних умов;

$K_{пов}$ — інтегральний коефіцієнт поведінкової складової.

Однак проста функціональна залежність ще не забезпечує необхідної фізичної інтерпретації показника. З погляду теорії систем природне середовище створює потенційні можливості для приховання, а діяльність особового складу визначає рівень їх реалізації. Це означає, що обидві складові не є незалежними та повинні розглядатися як взаємопов'язані елементи єдиної системи.

Саме тому найбільш доцільним є використання мультиплікативної моделі

$$K_{рез} = K_{пр} \cdot K_{пов}. \quad (4)$$

Подібний підхід має важливе фізичне обґрунтування. Якщо хоча б одна зі складових набуває низьких значень, загальна результативність природного маскування також істотно зменшується. Наприклад, навіть ідеальні природні умови не забезпечать необхідного рівня прихованості у випадку порушення дисципліни маскування. Аналогічно високий професіоналізм особового складу не здатний повністю компенсувати відсутність природних укриттів на відкритій місцевості.

Запропонований коефіцієнт має низку важливих переваг. Насамперед він є безрозмірною величиною, що забезпечує можливість порівняння результатів, отриманих у різних природних умовах та за використання різних типів засобів повітряної розвідки. Крім того, показник має чітке фізичне трактування, оскільки безпосередньо характеризує частку зменшення ризику виявлення. Значення коефіцієнта, близькі до нуля, свідчать про відсутність помітного ефекту від використання природного маскування, тоді як збільшення його величини означає підвищення рівня прихованості особового складу.

У запропонованій моделі коефіцієнт природної складової характеризує рівень маскувальних можливостей природного середовища незалежно від діяльності особового складу, тоді як коефіцієнт поведінкової складової відображає ступінь ефективності використання цих можливостей під час виконання завдань. Таким чином, загальний результат визначається не простим накопиченням окремих ефектів, а їх спільною реалізацією.

Важливою перевагою такої структури є її фізична інтерпретованість. Якщо значення хоча б одного із коефіцієнтів наближається до нуля, інтегральний показник також прямує до нуля, що відповідає практичній відсутності ефекту природного маскування. Навпаки, високі значення обох складових забезпечують максимальне значення інтегрального коефіцієнта. Таким чином модель відображає реальні закономірності формування прихованості особового складу.

Додатковою перевагою запропонованої структури є можливість подальшого деталізованого аналізу окремих складових результативності. У разі необхідності загальний коефіцієнт може бути декомпозований на систему часткових показників, що дозволяє визначати фактори, які найбільшою мірою впливають на рівень прихованості. Такий підхід створює підґрунтя для формування практичних рекомендацій щодо вдосконалення заходів природного маскування та підвищення ефективності дій розвідувальних підрозділів.

Проведене теоретичне обґрунтування дозволяє зробити висновок, що мультиплікативна структура інтегрального показника найбільш повно відповідає природі досліджуваного процесу, враховує взаємозалежність природних і поведінкових факторів, забезпечує коректну фізичну інтерпретацію результатів та створює необхідні передумови для побудови математичної моделі результативності природного маскування. Саме ця структура надалі використовується як основа для розроблення математичного

апарату оцінювання ефективності використання природного середовища з метою зниження ймовірності виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки.

2.5. Методика визначення вагових коефіцієнтів

Одним із ключових етапів побудови математичної моделі результативності проведення заходів природного маскування є визначення вагових коефіцієнтів окремих факторів, що входять до складу інтегрального показника. Необхідність їх визначення обумовлена тим, що різні чинники природного середовища та особливості діяльності особового складу мають неоднаковий вплив на можливість виявлення сучасними засобами повітряної розвідки. Ігнорування цієї обставини призводить до спрощеного представлення досліджуваного процесу та суттєво знижує достовірність прогнозування результативності маскувальних заходів. Саме тому формування системи вагових коефіцієнтів розглядається як необхідна умова створення науково обґрунтованої математичної моделі, здатної адекватно відображати реальні закономірності впливу окремих факторів на рівень прихованості особового складу.

Проблема визначення вагових коефіцієнтів є характерною для більшості багатокритеріальних моделей, що використовуються у військових, технічних та соціально-економічних дослідженнях. У загальному випадку ваговий коефіцієнт відображає відносну важливість окремого параметра в межах досліджуваної системи та визначає ступінь його впливу на кінцевий результат. У задачах оцінювання прихованості особового складу складність визначення вагових коефіцієнтів додатково обумовлюється багатофакторністю процесу виявлення, взаємозалежністю окремих чинників та неможливістю безпосереднього вимірювання їх внеску в інтегральний результат.

Аналіз наукових праць, присвячених математичному моделюванню складних організаційно-технічних систем, показує, що для визначення вагових коефіцієнтів найбільш поширеними є експертні методи, статистичні методи, кореляційно-регресійний аналіз, метод аналізу ієрархій та комбіновані підходи. Кожен із зазначених методів має власні переваги та обмеження. Використання виключно експертного оцінювання дозволяє враховувати професійний досвід фахівців, однак пов'язане із суб'єктивністю суджень. Суто статистичні методи забезпечують об'єктивність результатів, але потребують значних обсягів експериментальних даних, які не завжди можуть бути отримані в умовах натурних досліджень. З огляду на це у даній роботі використано комбінований підхід, який поєднує експертне оцінювання на етапі формування початкової структури моделі та подальше уточнення вагових коефіцієнтів за результатами експериментальної перевірки.

Вихідною передумовою визначення вагових коефіцієнтів стало положення про те, що всі фактори, які впливають на прихованість особового складу, можуть бути згруповані у дві великі підсистеми. Перша характеризує властивості природного середовища та відображає об'єктивні особливості

місцевості, рослинного покриву, рельєфу та метеорологічних умов. Друга описує діяльність особового складу і характеризує ступінь дотримання вимог маскування під час виконання поставлених завдань. Такий підхід дозволив побудувати дворівневу систему вагових коефіцієнтів, у якій окремо визначаються ваги природних та поведінкових факторів.

Для природної складової інтегрального показника було виділено чотири основні фактори, які найбільшою мірою впливають на можливість виявлення особового складу засобами повітряної розвідки. До них належать захисні властивості рельєфу місцевості, особливості рослинного покриву, маскувальні властивості місцевих предметів та вплив погодних умов. Враховуючи неоднаковий внесок зазначених факторів у формування загального рівня прихованості, кожному з них було призначено власний ваговий коефіцієнт. При цьому сума всіх вагових коефіцієнтів природної складової повинна дорівнювати одиниці, що забезпечує нормалізацію інтегрального показника та можливість його подальшого використання у математичних розрахунках.

Аналогічний підхід застосовано до поведінкової складової. До її структури включено дисципліну маскування, прихованість переміщення, режим діяльності особового складу, часові параметри виконання завдань та рівень демаскувальних проявів. Кожен із зазначених факторів характеризує окремий аспект поведінки людини в умовах виконання розвідувального завдання та здійснює власний вплив на ймовірність виявлення. Сукупність цих факторів формує поведінкову складову інтегрального показника результативності природного маскування.

На першому етапі визначення вагових коефіцієнтів використовувався метод експертних оцінок. До експертної групи доцільно включати фахівців у галузі військової розвідки, тактики застосування безпілотних авіаційних комплексів, військової топографії, маскування та радіоелектронної боротьби. Залучення спеціалістів різного профілю дозволяє забезпечити комплексне бачення проблеми та мінімізувати вплив вузькопрофесійних упереджень. Експертам пропонується оцінити ступінь впливу кожного фактора на результативність природного маскування шляхом ранжування або бального оцінювання [15, 33].

Отримані експертні оцінки підлягають нормуванню, у результаті чого визначаються попередні значення вагових коефіцієнтів. Для природної складової ваговий коефіцієнт окремого фактора визначається як відношення його середньої експертної оцінки до суми оцінок усіх факторів відповідної групи. Аналогічний порядок застосовується і для поведінкової складової. Така процедура забезпечує приведення всіх вагових коефіцієнтів до єдиної шкали та створює можливість їх подальшого використання у математичній моделі.

Водночас експертні оцінки не можуть розглядатися як остаточні значення вагових коефіцієнтів. Вони є лише початковим наближенням, яке потребує перевірки на основі реальних експериментальних даних. Саме тому наступним етапом методики передбачено уточнення вагових коефіцієнтів за результатами натурних досліджень. Для цього виконується аналіз чутливості інтегрального

показника до зміни окремих факторів та визначається ступінь їх фактичного впливу на коефіцієнт результативності природного маскування.

Таким чином, було сформовано вагові коефіцієнти показників математичної моделі (табл.2.2):

Таблиця 2.2. Вагові коефіцієнти показників математичної моделі

Показник	Вага	Метод визначення
$K_{\text{р}}$	0,30	частка рельєфно екранованої площі
$K_{\text{в}}$	0,30	частка рослинно екранованої площі
$K_{\text{м}}$	0,20	шкала метеорологічних умов
$K_{\text{п}}$	0,20	$(1 - \text{К}_{\text{віз}})$
$K_{\text{пр}}$	1,00	зважене агрегування
$K_{\text{д}}$	0,30	нормований рівень діяльності
$K_{\text{пс}}$	0,20	шкала способу пересування
$K_{\text{рд}}$	0,15	$(\text{А}_t = t_{\text{акт}}/t_{\text{заг}})$
$K_{\text{чд}}$	0,15	за зміною температурного контрасту
$K_{\text{дм}}$	0,20	експертно-контрольна оцінка
$K_{\text{пов}}$	1,00	зважене агрегування

У процесі експериментальної обробки результатів визначаються середні зміни інтегрального коефіцієнта результативності при варіюванні кожного фактора за незмінності інших умов. Отримані величини характеризують фактичний внесок відповідного фактора у формування кінцевого результату. Після цього виконується нормування отриманих значень, що дозволяє отримати уточнені вагові коефіцієнти, які базуються вже не лише на експертних судженнях, а й на результатах практичних досліджень.

Важливою умовою застосування розробленої методики є перевірка узгодженості отриманих вагових коефіцієнтів. Наявність суттєвих розбіжностей між експертними оцінками або нестійкість результатів експериментальної перевірки може свідчити про необхідність перегляду структури моделі чи уточнення переліку факторів. У зв'язку з цим визначення вагових коефіцієнтів розглядається не як одноразова процедура, а як ітераційний процес послідовного вдосконалення математичної моделі.

Запропонований підхід забезпечує поєднання теоретичних уявлень про механізми формування прихованості особового складу з результатами натурних експериментів. Це дозволяє сформувати систему вагових коефіцієнтів, яка відображає реальний внесок окремих природних та поведінкових факторів у зниження ймовірності виявлення засобами повітряної розвідки. Використання такої системи ваг забезпечує підвищення точності математичного моделювання та створює передумови для подальшого прогнозування ефективності природного маскування в різних умовах бойової обстановки.

2.6. Формування концептуальної моделі дослідження

Вирішення наукової проблеми оцінювання результативності проведення заходів природного маскування неможливе без побудови цілісної концептуальної моделі, яка забезпечує формалізоване відображення взаємозв'язків між природним середовищем, діяльністю особового складу та процесами виявлення сучасними засобами повітряної розвідки. Саме концептуальна модель виступає проміжною ланкою між теоретичним аналізом предметної області та математичним описом досліджуваних закономірностей. Вона визначає структуру майбутньої математичної моделі, перелік основних факторів, характер їх взаємодії та логіку формування інтегрального показника результативності природного маскування.

Необхідність побудови концептуальної моделі обумовлена складністю об'єкта дослідження. Процес виявлення особового складу засобами повітряної розвідки є багатофакторним явищем, у якому одночасно взаємодіють природні, технічні, організаційні та поведінкові чинники. Кожен із них окремо впливає на ймовірність виявлення, однак кінцевий результат формується не їх механічною сумою, а складною системою взаємозалежностей. За таких умов без попередньої концептуалізації неможливо обґрунтовано визначити структуру математичної моделі та встановити, які фактори повинні бути включені до подальшого аналізу.

Проведений у першому розділі аналіз сучасних засобів повітряної розвідки показав, що основним результатом функціонування будь-якої розвідувальної системи є отримання інформації про місцезнаходження та діяльність особового складу. Незалежно від типу безпілотного авіаційного комплексу, принципу роботи сенсорів або способу обробки інформації кінцевою подією виступає виявлення або невиявлення об'єкта спостереження. Саме тому центральним елементом концептуальної моделі обрано процес формування ймовірності виявлення особового складу в умовах використання природного середовища як засобу маскування.

В основу побудови концептуальної моделі покладено положення про те, що рівень прихованості особового складу визначається не окремими характеристиками місцевості або поведінки людини, а їх сукупним впливом на інформаційну помітність об'єкта у спектральних діапазонах, які використовуються сучасними засобами повітряної розвідки. З погляду функціонування розвідувальних систем особовий склад є джерелом комплексу демаскувальних ознак, які можуть бути зафіксовані оптичними, тепловізійними або багатоспектральними сенсорами. Ефективність природного маскування визначається ступенем зменшення інтенсивності цих ознак або ускладненням їх інтерпретації оператором чи автоматизованими алгоритмами розпізнавання.

Концептуальна модель базується на уявленні про наявність двох взаємопов'язаних груп факторів, які формують кінцевий результат. Перша група охоплює характеристики природного середовища. До неї належать особливості рельєфу місцевості, щільність та структура рослинного покриву, наявність природних укриттів, характер підстильної поверхні, погодні умови та

інші природні фактори, здатні впливати на процес виявлення. Вказані характеристики формують об'єктивну складову прихованості, яка існує незалежно від дій особового складу та визначається властивостями навколишнього середовища.

Друга група факторів пов'язана з діяльністю людини. Її зміст визначається рівнем дотримання вимог маскування, вибором маршрутів пересування, характером виконання завдань, часовими параметрами діяльності, дисципліною особового складу та ступенем контролю демаскувальних проявів. На відміну від природної складової, поведінкова складова має керований характер і може змінюватися залежно від підготовки особового складу, рівня організації виконання завдань та професійної компетентності командирів.

Аналіз взаємозв'язків між зазначеними групами факторів свідчить, що вони не можуть розглядатися ізольовано. Високі маскувальні властивості місцевості не гарантують ефективного приховування за наявності грубих порушень дисципліни маскування. Аналогічно навіть бездоганна поведінка особового складу не забезпечить необхідного рівня прихованості за відсутності природних умов, сприятливих для маскування. Таким чином, результативність природного маскування формується лише за умови одночасної реалізації обох складових, що стало принциповою передумовою побудови математичної моделі мультиплікативного типу.

З позицій системного підходу концептуальна модель розглядає процес природного маскування як функціональну систему, що складається з вхідних параметрів, механізму їх взаємодії та вихідного результату. Вхідними параметрами виступають характеристики природного середовища, параметри діяльності особового складу та умови застосування засобів повітряної розвідки. Механізмом функціонування системи є процес формування інформаційної помітності людини. Вихідним результатом є ймовірність виявлення особового складу або похідний від неї коефіцієнт результативності проведення заходів природного маскування.

Особливістю розробленої концептуальної моделі є врахування сучасних тенденцій розвитку засобів повітряної розвідки. На відміну від традиційних підходів, орієнтованих переважно на візуальне спостереження, запропонована модель враховує багатоспектральний характер сучасних систем виявлення. У межах моделі передбачається, що особовий склад може бути виявлений одночасно за рахунок візуальних, теплових, геометричних та поведінкових ознак. Відповідно ефективність природного маскування визначається здатністю природного середовища знижувати помітність об'єкта в усіх каналах спостереження, а не лише у видимому спектрі.

Важливим елементом концептуальної моделі є врахування імовірнісного характеру процесу виявлення. Практика застосування безпілотних авіаційних комплексів свідчить, що навіть за однакових умов результати спостереження можуть суттєво відрізнятися внаслідок випадкового впливу численних факторів. Саме тому в межах дослідження процес виявлення розглядається як випадкова подія, а основним кількісним показником обрано ймовірність виявлення особового складу. Такий підхід забезпечує можливість використання

апарату теорії ймовірностей і математичної статистики для подальшого аналізу результатів.

Сформована концептуальна модель визначає логіку переходу від якісного опису процесу природного маскування до його математичної формалізації. На першому рівні здійснюється оцінювання впливу окремих природних та поведінкових факторів. На другому рівні формується система часткових показників, які відображають стан кожної групи факторів. На третьому рівні визначаються інтегральні коефіцієнти природної та поведінкової складових. Завершальним етапом є об'єднання отриманих результатів у межах єдиного інтегрального показника результативності природного маскування, який використовується для оцінювання ефективності заходів та перевірки адекватності математичної моделі.

Таким чином, сформована концептуальна модель дослідження забезпечує системне відображення закономірностей формування прихованості особового складу в умовах застосування сучасних засобів повітряної розвідки. Вона об'єднує природні та поведінкові фактори в межах єдиної логічної структури, визначає причинно-наслідкові зв'язки між ними та створює науково обґрунтовану основу для побудови математичної моделі результативності проведення заходів природного маскування, яка підлягає подальшій експериментальній перевірці та практичному використанню під час планування діяльності розвідувальних підрозділів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано теоретико-методологічне обґрунтування підходу до кількісного оцінювання результативності проведення заходів природного маскування особового складу розвідувальних підрозділів в умовах застосування сучасних засобів повітряної розвідки. Проведений аналіз наукових праць, методичних документів та існуючих підходів до оцінювання прихованості показав, що переважна більшість наявних методик орієнтована на якісний опис маскувальних властивостей місцевості або використовує експертні оцінки, які не забезпечують достатньої об’єктивності та відтворюваності результатів. Встановлено, що в сучасних умовах розвитку безпілотних авіаційних комплексів, оснащених багатоспектральними оптико-електронними системами спостереження, виникає потреба у створенні формалізованого показника, здатного відображати реальний вплив природного середовища на можливість виявлення особового складу та забезпечувати кількісне порівняння різних варіантів організації маскування.

У ході дослідження обґрунтовано вибір ймовірності виявлення як базового показника, що найбільш повно характеризує результат взаємодії між об’єктом спостереження та засобом повітряної розвідки. Показано, що саме зміна ймовірності виявлення під впливом природних факторів і особливостей діяльності особового складу дозволяє безпосередньо оцінити ефективність проведених заходів маскування. На цій основі сформовано інтегральний коефіцієнт результативності природного маскування, який відображає відносне

зниження ймовірності виявлення порівняно з базовими умовами функціонування особового складу. Використання такого показника забезпечує можливість переходу від описових характеристик прихованості до кількісного вимірювання ефективності природного маскування.

Встановлено, що процес формування прихованості особового складу має складний багатофакторний характер і визначається одночасною дією великої кількості взаємопов'язаних чинників. У зв'язку з цим сформовано систему часткових показників, яка охоплює як характеристики природного середовища, так і поведінкові особливості діяльності особового складу. До складу природної складової включено показники рельєфу місцевості, рослинного покриву, маскувальних властивостей місцевості та погодних умов, що безпосередньо впливають на можливість візуального й теплового виявлення людини. Поведінкова складова охоплює особливості режиму діяльності, дисципліну маскування, характер пересування, часові параметри виконання завдань та інші фактори, які визначають рівень демаскування особового складу під час виконання бойових завдань.

Результати аналізу показали, що жоден із часткових показників окремо не може повною мірою характеризувати результативність природного маскування. Саме тому було обґрунтовано необхідність побудови інтегрального показника, який враховує сумарний вплив усіх досліджуваних факторів. Встановлено, що найбільш адекватним способом інтеграції природної та поведінкової складових є використання мультиплікативної структури математичної моделі, яка дозволяє враховувати взаємозалежний характер формування прихованості. Такий підхід забезпечує можливість кількісного оцінювання внеску кожної групи факторів та створює передумови для подальшого математичного моделювання процесу природного маскування.

У процесі дослідження розроблено методичний підхід до визначення вагових коефіцієнтів часткових показників. Показано, що використання системи вагових коефіцієнтів дозволяє враховувати неоднакову значущість окремих факторів у формуванні інтегрального результату. Визначено принципи нормування та подальшого експериментального уточнення вагових коефіцієнтів на основі статистичної обробки результатів натурних досліджень. Такий підхід забезпечує можливість переходу від суб'єктивних експертних оцінок до кількісно обґрунтованих параметрів математичної моделі.

Завершальним результатом розділу стало формування концептуальної моделі дослідження, яка відображає логіку взаємозв'язку між характеристиками природного середовища, поведінкою особового складу, умовами застосування засобів повітряної розвідки та підсумковою результативністю природного маскування. Сформована концептуальна модель визначає структуру подальших теоретичних і експериментальних досліджень, встановлює перелік основних змінних та параметрів, що підлягають оцінюванню, і створює науково-методичну основу для побудови математичної моделі результативності природного маскування.

Таким чином, у другому розділі сформовано завершену систему теоретичних положень, необхідних для подальшого математичного опису

процесу природного маскування особового складу. Обґрунтовано вибір основного показника результативності, визначено систему часткових показників, розроблено підхід до формування вагових коефіцієнтів та створено концептуальну модель дослідження. Отримані результати забезпечують наукове підґрунтя для побудови математичної моделі результативності проведення заходів природного маскування, розроблення методик її практичного застосування та подальшої експериментальної перевірки в умовах використання сучасних засобів повітряної розвідки.

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ

3.1. Загальна структура математичної моделі

Розроблення математичної моделі результативності проведення заходів природного маскування є центральним етапом дослідження, оскільки саме математичний апарат забезпечує можливість переходу від якісного опису процесів приховання особового складу до кількісного оцінювання їх ефективності. У сучасних умовах стрімкого розвитку засобів повітряної розвідки проблема забезпечення прихованості набуває дедалі складнішого характеру, оскільки можливість виявлення людини визначається не окремими демаскувальними ознаками, а сукупністю взаємопов'язаних факторів природного, технічного та поведінкового походження. За таких умов використання лише емпіричних оцінок або окремих показників не дозволяє отримати достатньо об'єктивний результат. Саме тому виникає необхідність формування математичної моделі, здатної інтегрувати вплив різнорідних чинників у межах єдиного формалізованого підходу.

Концептуально розроблена модель базується на положенні про те, що результативність природного маскування визначається ступенем зниження ймовірності виявлення особового складу засобами повітряної розвідки противника. В основу моделі покладено припущення, що процес виявлення є ймовірнісним явищем, на яке одночасно впливають характеристики навколишнього середовища та особливості діяльності особового складу. Відповідно, підвищення рівня прихованості досягається шляхом зменшення інформаційної помітності людини у видимому та інфрачервоному діапазонах спостереження. Такий підхід відповідає сучасним уявленням про функціонування оптико-електронних систем спостереження та дозволяє розглядати природне маскування як процес керованого зниження ймовірності виявлення.

Формування структури математичної моделі здійснювалося на основі системного підходу, відповідно до якого об'єкт дослідження розглядається як складна система, що складається з взаємопов'язаних елементів. У межах проведеного дослідження такими елементами виступають природне середовище, особовий склад, засоби повітряної розвідки та умови виконання завдання. Кожен із зазначених компонентів впливає на кінцевий результат через власну групу параметрів, а їх сукупна дія визначає рівень прихованості особового складу в конкретних умовах обстановки.

Аналіз результатів, отриманих у першому та другому розділах роботи, показав доцільність поділу всіх факторів на дві великі групи. До першої групи належать фактори природного середовища, які формуються незалежно від діяльності особового складу та визначають природні маскувальні властивості місцевості. До другої групи належать поведінкові фактори, які залежать від організації діяльності підрозділу та безпосередньо впливають на рівень демаскування під час виконання бойових завдань. Такий поділ дозволяє

забезпечити логічну структуру моделі та створює можливість окремого аналізу внеску кожної складової у формування загального результату.

Метою моделі є кількісне визначення рівня прихованості особового складу з урахуванням двох основних груп факторів:

– природних умов середовища;

– поведінкової складової діяльності особового складу.

Пропонується використовувати:

$$К_{рез} = К_{пр} \cdot К_{пов} \quad (5)$$

де:

$К_{рез}$ — коефіцієнт результативності проведення заходів природного маскування;

$К_{пр}$ — інтегральний коефіцієнт природних умов;

$К_{пов}$ — інтегральний коефіцієнт поведінкової складової.

Для забезпечення можливості порівняння різних умов усі часткові коефіцієнти нормуються до інтервалу: $0 \leq K_{\text{i}} \leq 1$

При цьому:

$K_{\text{i}} = 0$ — мінімальна сприятливість для прихованості;

$K_{\text{i}} = 1$ — максимальна сприятливість для прихованості.

Використання мультиплікативної структури є принципово важливим для забезпечення адекватності моделі реальним умовам застосування природного маскування. На відміну від адитивних моделей, у яких збільшення одного фактора може компенсувати відсутність іншого, мультиплікативна залежність відображає той факт, що низька ефективність хоча б однієї складової неминуче призводить до зниження загального результату. Практичний досвід бойового застосування розвідувальних підрозділів свідчить, що навіть місцевість із високими природними маскувальними властивостями не забезпечує належного рівня прихованості за умови порушення дисципліни маскування. Водночас суворе дотримання правил прихованого пересування не здатне повністю компенсувати відсутність природних укриттів або сприятливих умов місцевості. Саме тому взаємодія природних і поведінкових факторів має синергетичний характер, що обґрунтовує використання добутку відповідних коефіцієнтів.

Коефіцієнт природної складової формується на основі узагальнення основних характеристик місцевості, які впливають на можливість виявлення особового складу. До його структури включено показники рельєфу, рослинного покриву, маскувальних властивостей місцевості та погодних умов. Кожен із зазначених факторів характеризує окремий аспект природного середовища та впливає на процес спостереження через зміну контрастності об’єкта, обмеження секторів огляду, екранування теплового випромінювання або зниження ефективності роботи сенсорів повітряної розвідки.

Математично природна складова описується зваженою сумою часткових коефіцієнтів

$$K_{пр} = \omega_1 K_р + \omega 2\, K_в + \omega 3\, K_м + \omega 4\, K_п, \quad (6)$$

де

$К_р$ — коефіцієнт рельєфного маскування;
$К_в$ — коефіцієнт рослинного покриву;
$К_м$ — коефіцієнт метеорологічних умов;
$К_п$ — коефіцієнт властивостей поверхні;
ω_i — вагові коефіцієнти.

При цьому $\sum_{i=1}^{4} \omega_i = 1$.

Для початкової версії моделі з урахуванням вагових коефіцієнтів приймаємо:

$$K_{пр} = 0{,}30K_р + 0{,}30K_в + 0{,}20K_в + 0{,}20K_п, \quad (7)$$

де:

$$w_р + w_в + w_м + w_п = 1$$

Визначення коефіцієнта рельєфу $K_р$.

Для можливості безпосереднього розрахунку пропонується використовувати відносну частку простору, в якому рельєф забезпечує екранування:

$$K_p = \frac{S_{екр}}{S}, \quad (8)$$

де:

$S_{екр}$— площа або частка оцінюваного простору, у межах якого рельєф забезпечує екранування;

S — загальна оцінювана площа.

Тоді, нормування значень $K_р$ представлено в табл. 3.1:

Таблиця 3.1. Нормування значень коефіцієнта рельєфу

K_p	Рівень прихованості
0,00–0,20	дуже низький
0,21–0,40	низький
0,41–0,60	середній
0,61–0,80	високий
0,81–1,00	дуже високий

Визначення коефіцієнта рослинності $K_в$.

Пропонується визначати його через частку площі, на якій рослинність створює екранування:

$$K_в = \frac{S_{рос}}{S}, \quad (9)$$

де $S_{рос}$ — площа, на якій рослинність забезпечує екранування.

Тоді, нормування значень $K_в$ представлено в табл. 3.2:

Таблиця 3.2. Нормування значень коефіцієнта рослинності

Частка екранування рослинності	$K_в$
0–20 %	0,00–0,20
21–40 %	0,21–0,40
41–60 %	0,41–0,60
61–80 %	0,61–0,80
81–100 %	0,81–1,00

Визначення коефіцієнта метеорологічних умов $К_м$.
Коефіцієнт метеорологічних умов $К_м$ обирається з нормованих значень отриманих експертним та емпіричним методами (табл. 3.3):

Таблиця 3.3. Нормування значень коефіцієнта метеорологічних умов

Метеорологічні умови	$К_м$
Ясна погода	0,00–0,20
Мінлива хмарність	0,21–0,40
Суцільна хмарність	0,41–0,60
Слабкі опади	0,61–0,75
Туман / істотне обмеження видимості	0,76–0,90

Визначення коефіцієнта властивостей поверхні $К_п$.
Оскільки високий контраст погіршує прихованість, для загальної моделі вводимо зворотну нормовану характеристику:

$$К_п = 1 - К_{віз} \quad (10)$$

Тоді, нормування значень $К_п$ представлено в табл. 3.4:

Таблиця 3.4. Нормування значень коефіцієнта властивостей поверхні

$К_{віз}$	$К_п$	Характеристика візуального контрасту
0,00–0,20	0,80–1,00	дуже низький контраст
0,21–0,40	0,60–0,79	низький
0,41–0,60	0,40–0,59	середній
0,61–0,80	0,20–0,39	високий
0,81–1,00	0,00–0,19	дуже високий

Поведінкова складова моделі відображає вплив особливостей діяльності особового складу на рівень прихованості під час виконання завдань. На відміну від природних факторів, які є відносно стабільними, поведінкові фактори можуть змінюватися залежно від підготовленості військовослужбовців, рівня організації виконання завдання та дотримання вимог маскування. Саме ця група факторів є найбільш керованою та становить основу практичних рекомендацій щодо підвищення прихованості особового складу.

Для кількісного опису поведінкової складової використовується залежність

$$K_{пов} = \upsilon_1 K_д + \upsilon_2 K_{пс} + \upsilon_3 K_{рд} + \upsilon_4 K_{чд} + \upsilon_5 K_{дм}, \quad (11)$$

де
$К_д$ — коефіцієнт демаскувальної діяльності;
$К_{пс}$ — коефіцієнт способу пересування;
$К_{рд}$ — коефіцієнт режиму діяльності;
$К_{чд}$ — коефіцієнт часової динаміки;
$К_{дм}$ — коефіцієнт дисципліни маскування.
Виконується умова $\sum_{i=1}^{5} \upsilon_i = 1$.

Для початкової версії моделі з урахуванням вагових коефіцієнтів приймаємо:

$$К_{пов} = 0{,}30К_{д} + 0{,}20К_{пс} + 0{,}15К_{рд} + 0{,}15К_{чд} + 0{,}20К_{дм} \quad (12)$$

При цьому:

$$0{,}30 + 0{,}20 + 0{,}15 + 0{,}15 + 0{,}20 = 1.$$

Визначення коефіцієнта демаскувальної діяльності $К_{д}$.

Вводимо нормований показник активності $А_{п}$: $0 \leq А_{п} \leq 1$.

Оскільки зростання активності погіршує прихованість:

$$К_{д} = 1 - А_{п}, \quad (13)$$

де $А_{п}$ може формуватися на основі інтенсивності діяльності.

Тоді, для практичної оцінки, нормування значень $К_{п}$ представлено в табл. 3.5:

Таблиця 3.5. Нормування значень коефіцієнта демаскувальної діяльності

Рівень активності особового складу	$К_{д}$
дуже високий	0,00–0,20
високий	0,21–0,40
середній	0,41–0,60
низький	0,61–0,80
мінімальний	0,81–1,00

Визначення коефіцієнта способу пересування $К_{пс}$.

Коефіцієнт способу пересування $К_{пс}$ обирається з нормованих значень отриманих експертним та емпіричним методами (табл. 3.6):

Таблиця 3.6. Нормування значень коефіцієнта способу пересування

Спосіб діяльності особового складу	$К_{пс}$
високоактивне пересування	0,00–0,10
звичайне пересування	0,11–0,35
обмежене пересування	0,36–0,55
повільне приховане пересування	0,56–0,75
нерухоме положення	0,76–0,90

Визначення коефіцієнта режиму діяльності $К_{рд}$.

Пропонується оцінювати через частку часу, протягом якого особовий склад перебуває у стані активності:

$$А_{t} = \frac{t_{акт}}{t_{заг}}, \quad (14)$$

а коефіцієнт:

$$К_{рд} = 1 - А_{t} \quad (15)$$

Тоді, для практичної оцінки, нормування значень $К_{рд}$ представлено в табл. 3.7:

Таблиця 3.7. Нормування значень коефіцієнта режиму діяльності

Рівень активності особового складу	Частка часу активних дій A_t	$К_{рд}$
Безперервна або майже безперервна активність	0,81–1,00	0,00–0,19
Переважно активні дії або пересування	0,61–0,80	0,20–0,39
Чергування активних дій і прихованого очікування	0,41–0,60	0,40–0,59
Короткі та рідкісні переміщення	0,21–0,40	0,60–0,79
Переважно нерухоме положення	0,00–0,20	0,80–1,00

Визначення коефіцієнта часової динаміки $K_{чд}$.

Оскільки цей показник пов'язаний із тривалістю перебування, фізичною активністю та накопиченням демаскувальних ознак, шкалу доцільно будувати за зростанням демаскувального ефекту з часом (табл.3.8):

Таблиця 3.8. Нормування значень коефіцієнта часової динаміки

$K_{чд}$	Характеристика накопичення демаскувальних ознак
0,00–0,20	Сильне накопичення демаскувальних ознак
0,21–0,40	Значне накопичення
0,41–0,60	Помірне накопичення
0,61–0,80	Незначне накопичення
0,81–1,00	Мінімальна часова зміна демаскувальних ознак

Визначення коефіцієнта дисципліни маскування $К_{дм}$.

При виборі коефіцієнту оцінюється виконання п'яти груп вимог:

- вибір положення;
- використання природних укриттів;
- контроль руху;
- контроль демаскувальних ознак;
- дотримання режиму прихованості.

Тоді:

$$К_{дм} = \frac{\sum_{i=1}^{5} b_i}{5}, \quad (16)$$

де b_i — оцінка виконання кожної вимоги від 0 до 1.

Тоді, для практичної оцінки, нормування значень $К_{дм}$ представлено в табл. 3.9:

Таблиця 3.9. Нормування значень коефіцієнта дисципліни маскування

Середня оцінка b_i	$К_{дм}$	Рівень дисципліни маскування
0,00–0,20	0,00–0,20	дуже низький
0,21–0,40	0,21–0,40	низький
0,41–0,60	0,41–0,60	задовільний
0,61–0,80	0,61–0,80	високий
0,81–1,00	0,81–1,00	дуже високий

Кінцева математична модель.
Після підстановки обох складових в (5), отримуємо:

$$K_{\text{рез}} = \left(0{,}30K_{\text{р}} + 0{,}30K_{\text{в}} + 0{,}20K_{\text{м}} + 0{,}20K_{\text{п}}\right) \cdot \left(0{,}30K_{\text{д}} + 0{,}20K_{\text{пс}} + 0{,}15K_{\text{рд}} + 0{,}15K_{\text{чд}} + 0{,}20K_{\text{дм}}\right) \quad (17)$$

Тоді, інтерпретацію результатів розрахунків $K_{\text{рез}}$ представлено в табл. 3.10:

Таблиця 3.10. Інтерпретація значень коефіцієнта результативності маскування

$K_{\text{рез}}$	Рівень маскування
0,00–0,20	дуже низький
0,21–0,40	низький
0,41–0,60	середній
0,61–0,80	високий
0,81–1,00	дуже високий

Розглянемо приклад повного розрахунку.
Для демонстрації візьмемо умовні нормовані значення:

$$K_{\text{р}} = 0{,}70; K_{\text{в}} = 0{,}80; K_{\text{м}} = 0{,}60; K_{\text{п}} = 0{,}75.$$

Тоді:

$$\text{К}_{\text{пр}} = 0{,}30(0{,}70) + 0{,}30(0{,}80) + 0{,}20(0{,}60) + 0{,}20(0{,}75) = 0{,}72$$

Для поведінкової складової:

$$\text{К}_{\text{д}} = 0{,}80; \text{К}_{\text{пс}} = 0{,}75; \text{К}_{\text{рд}} = 0{,}70; \text{К}_{\text{чд}} = 0{,}65; \text{К}_{\text{дм}} = 0{,}85$$

Отже:

$$\text{К}_{\text{пов}} = 0{,}30(0{,}80) + 0{,}20(0{,}75) + 0{,}15(0{,}70) + 0{,}15(0{,}70) + 0{,}20(0{,}85) = 0{,}7625$$

Кінцевий результат:

$$\text{К}_{\text{пр}} = 0{,}72 \cdot 0{,}7625 = 0{,}549$$

Отже, за прийнятою шкалою, отримуємо середній рівень результативності.

Особливістю розробленої математичної моделі є використання нормованих безрозмірних коефіцієнтів. Такий підхід забезпечує можливість інтегрування факторів різної фізичної природи в межах єдиної математичної структури. Незалежно від того, чи характеризує окремий показник висоту рослинності, складність рельєфу, тривалість перебування на відкритій місцевості або інтенсивність пересування, після нормування всі параметри набувають єдиної шкали вимірювання. Це створює передумови для подальшого статистичного аналізу та порівняння результатів, отриманих у різних природних умовах.

Побудована модель має ієрархічну структуру. На нижньому рівні знаходяться первинні показники, що характеризують окремі властивості місцевості та діяльності особового складу. На середньому рівні формується природна та поведінкова складові. На верхньому рівні визначається інтегральний коефіцієнт результативності природного маскування. Така

структура забезпечує простежуваність процесу формування результату та дозволяє визначати внесок кожного окремого фактора у загальну ефективність маскування.

Запропонована математична модель поєднує принципи системного аналізу, теорії ймовірностей, математичного моделювання та багатокритеріального оцінювання. Її структура забезпечує можливість як ретроспективного аналізу результатів натурних експериментів, так і прогнозування очікуваної результативності природного маскування під час планування дій розвідувальних підрозділів. Саме тому сформована структура математичної моделі виступає основою всіх подальших розрахунків, експериментальних перевірок і практичних рекомендацій, наведених у наступних підрозділах дослідження.

3.2. Аналіз чутливості математичної моделі

У теорії математичного моделювання чутливість системи характеризує зміну вихідного параметра внаслідок зміни одного або декількох вхідних параметрів за умови незмінності інших факторів. Застосування цього підходу до задачі природного маскування дозволяє визначити, які саме фактори найбільшою мірою впливають на результативність приховання особового складу та забезпечують найбільший приріст інтегрального коефіцієнта за умови їх покращення [23, 24, 28].

Оскільки у попередньому підрозділі інтегральний коефіцієнт результативності визначено співвідношенням (5), аналіз чутливості доцільно проводити окремо для природної та поведінкової складових, а також для кожного часткового коефіцієнта, що входить до їх складу.

З математичної точки зору локальна чутливість коефіцієнта результативності до зміни окремого фактора визначається частинною похідною

$$S_i = \frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial X_i}, \tag{18}$$

де

– S_i — коефіцієнт чутливості;

– X_i — відповідний фактор моделі.

Чим більше значення S_i, тим сильніше відповідний параметр впливає на кінцевий результат.

Однак, використання абсолютних значень похідних не дозволяє безпосередньо порівнювати фактори, що мають різну фізичну природу. Тому доцільніше використовувати відносний коефіцієнт чутливості, який визначається співвідношенням

$$S_i = \frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{K_{\text{рез}}}. \tag{19}$$

Такий показник характеризує відносну зміну коефіцієнта результативності у відповідь на відносну зміну окремого фактора.

Перевагою запропонованого підходу є можливість безпосереднього порівняння впливу всіх параметрів незалежно від їх фізичної природи [23 – 27].

Для аналізу чутливості природної складової

$$K_{\text{пр}} = w_1 K_{\text{р}} + w_2 K_{\text{в}} + w_3 K_{\text{м}} + w_4 K_{\text{п}}, \quad (20)$$

одержуємо

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{р}}} = w_1 K_{\text{пов}}, \quad (21)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{р}}} = w_2 K_{\text{пов}}, \quad (22)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{р}}} = w_3 K_{\text{пов}}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{р}}} = w_4 K_{\text{пов}}. \quad (24)$$

Таким чином, вплив кожного природного фактора прямо пропорційний його ваговому коефіцієнту та значенню поведінкової складової.

Це означає, що навіть істотне покращення природних умов не забезпечить значного приросту інтегрального коефіцієнта у випадку низького рівня дисципліни маскування або неправильно організованої діяльності особового складу.

Аналогічно аналізуємо чутливість для поведінкової складової

$$K_{\text{пов}} = v_1 K_{\text{д}} + v_2 K_{\text{пс}} + v_3 K_{\text{рд}} + v_4 K_{\text{чд}} + v_5 K_{\text{дм}}, \quad (25)$$

отримуємо

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{д}}} = v_1 K_{\text{пр}}, \quad (26)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{д}}} = v_2 K_{\text{пр}}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{д}}} = v_3 K_{\text{пр}}, \quad (28)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{д}}} = v_4 K_{\text{пр}}, \quad (29)$$

$$\frac{\partial K_{\text{рез}}}{\partial K_{\text{д}}} = v_5 K_{\text{пр}}. \quad (30)$$

З отриманих співвідношень випливає, що ефективність будь-яких організаційних заходів значною мірою визначається потенційними можливостями природного середовища. Найбільший ефект досягається тоді, коли вдосконалення організації діяльності поєднується з раціональним вибором місцевості.

Комплексний аналіз впливу факторів. Для практичного застосування математичної моделі важливо не лише визначити локальну чутливість, а й оцінити відносну значущість окремих факторів [23, 31].

На основі аналізу сучасного бойового досвіду, проведених теоретичних досліджень та структури математичної моделі встановлено орієнтовну пріоритетність факторів (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Відносна чутливість коефіцієнта результативності до окремих факторів

Фактор	Позначення	Орієнтовний рівень чутливості	Практичний вплив
Дисципліна маскування	$K_{дм}$	Дуже високий	Максимальний приріст прихованості при вдосконаленні підготовки
Характер пересування	$K_{пс}$	Дуже високий	Значне зменшення часового контрасту
Рельєф місцевості	$K_{р}$	Високий	Забезпечує природне екранування
Рослинний покрив	$K_{в}$	Високий	Знижує візуальну та теплову помітність
Час перебування	$K_{чд}$	Високий	Визначає накопичення демаскувальних ознак
Режим діяльності	$K_{рд}$	Середньо-високий	Впливає на інтенсивність демаскування
Метеорологічні умови	$K_{м}$	Середній	Залежить від типу сенсорів БпЛА
Властивості поверхні	$K_{п}$	Середній	Найбільш проявляється при тепловізійній розвідці
Загальна демаскувальна діяльність	$K_{д}$	Середній	Комплексний вплив поведінкових факторів

Отримані результати свідчать, що найбільший вплив на кінцеву результативність мають керовані поведінкові фактори, а не природні умови.

Окрему увагу під час аналізу чутливості приділено дослідженню впливу вагових коефіцієнтів. Оскільки вагові коефіцієнти визначають відносний внесок окремих факторів у формування узагальнених показників, їх значення безпосередньо впливають на результати розрахунків. Для оцінювання стійкості моделі виконувалося послідовне варіювання вагових коефіцієнтів у межах допустимих інтервалів із контролем зміни інтегрального показника результативності. Отримані результати свідчать про відсутність критичної залежності моделі від незначних коливань вагових коефіцієнтів. Це підтверджує її стійкість та можливість практичного використання навіть за умов певної невизначеності під час визначення вагових характеристик окремих факторів.

Важливою складовою аналізу стало дослідження комбінованого впливу факторів. Реальні умови виконання завдань характеризуються одночасною зміною багатьох параметрів, тому оцінювання впливу кожного з них окремо не завжди дозволяє повною мірою відобразити реальний характер процесу. Проведене дослідження показало, що найбільший ефект досягається за одночасного покращення природної та поведінкової складових. У таких

випадках спостерігається синергетичний ефект, коли сумарне підвищення результативності перевищує ефект від ізольованого покращення окремих факторів. Це підтверджує доцільність комплексного підходу до організації природного маскування та необхідність одночасного врахування умов місцевості і особливостей діяльності особового складу.

Результати аналізу чутливості також дозволили визначити фактори, які можуть розглядатися як пріоритетні під час планування заходів природного маскування. До них належать характеристики рельєфу, щільність рослинного покриву, рівень використання природних укриттів, дисципліна маскування та режими діяльності особового складу. Саме ці параметри забезпечують найбільший приріст інтегрального коефіцієнта результативності за мінімальних витрат часу та ресурсів. Водночас фактори з низькою чутливістю можуть використовуватися як допоміжні елементи системи природного маскування, не визначаючи її загальної ефективності.

Виконаний аналіз підтвердив, що розроблена математична модель характеризується достатнім рівнем стійкості до випадкових змін вхідних параметрів та забезпечує логічно обґрунтовану реакцію на зміну умов функціонування. Отримані закономірності узгоджуються з фізичною сутністю процесів виявлення особового складу та відображають реальний характер впливу природних і поведінкових факторів на формування його прихованості. Це свідчить про внутрішню узгодженість побудованого математичного апарату та створює необхідні передумови для його подальшої експериментальної перевірки.

Таким чином, проведений аналіз чутливості підтвердив працездатність і стійкість розробленої математичної моделі результативності природного маскування. Встановлено, що найбільший вплив на інтегральний показник здійснюють фактори, пов'язані з характеристиками природного середовища та дисципліною маскування особового складу, тоді як структура моделі забезпечує адекватне відображення взаємодії між окремими складовими. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для подальшого переходу до експериментальної перевірки математичної моделі та оцінювання її відповідності реальним умовам застосування розвідувальних підрозділів.

3.3. Алгоритм розрахунку коефіцієнта результативності

Практична цінність будь-якої математичної моделі визначається не лише її теоретичною обґрунтованістю, а й можливістю використання для вирішення прикладних завдань. У контексті дослідження результативності природного маскування особового складу особливого значення набуває створення чіткого алгоритму розрахунку інтегрального коефіцієнта результативності, який дозволяє здійснювати кількісне оцінювання ефективності використання природного середовища як у процесі аналізу виконаних заходів, так і на етапі планування дій розвідувальних підрозділів. Наявність формалізованої послідовності обчислень забезпечує однакове трактування результатів

дослідження, усуває неоднозначність оцінювання та створює передумови для подальшої автоматизації процесу прийняття рішень.

Розроблений алгоритм базується на концепції інтегрального оцінювання, відповідно до якої результативність природного маскування визначається сукупним впливом природних і поведінкових факторів, що одночасно впливають на можливість виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Такий підхід відображає реальні умови виконання завдань, коли кінцевий рівень прихованості формується не окремими властивостями місцевості або діями військовослужбовців, а їх взаємодією в межах єдиної системи.

Початковим етапом алгоритму є збирання вихідних даних щодо характеристик природного середовища району виконання завдання. На цьому етапі здійснюється оцінювання параметрів рельєфу, особливостей рослинного покриву, ступеня природного маскування місцевості та метеорологічних умов. Отримані характеристики переводяться у безрозмірну шкалу оцінювання, що дозволяє використовувати їх у подальших математичних розрахунках незалежно від одиниць вимірювання. Уніфікація показників є необхідною умовою інтегрування різнорідних факторів у межах єдиної моделі.

Після визначення параметрів природного середовища виконується оцінювання поведінкових характеристик особового складу. Аналізу підлягають режими пересування, особливості використання природних укриттів, дисципліна маскування, тривалість перебування на відкритих ділянках місцевості та інші характеристики, які безпосередньо впливають на рівень демаскування. Для кожного показника встановлюється його кількісне значення відповідно до розробленої системи критеріїв. Отримані дані формують інформаційну основу для розрахунку поведінкової складової інтегрального коефіцієнта.

Наступним етапом є визначення часткових коефіцієнтів природної складової. Кожен із них характеризує окремий аспект впливу навколишнього середовища на ймовірність виявлення особового складу. На цьому етапі виконується обчислення показників, що відображають маскувальні властивості рельєфу, ефективність використання рослинності, особливості мікрокліматичних умов та вплив природних укриттів. Після цього здійснюється зважування отриманих величин відповідно до встановлених вагових коефіцієнтів, що дозволяє врахувати неоднакову значущість окремих факторів у формуванні загального рівня прихованості.

Результатом виконання зазначених розрахунків є отримання узагальненого коефіцієнта природної складової, який характеризує потенціал природного середовища щодо зниження можливості виявлення особового складу. Величина цього показника відображає інтегральний вплив природних факторів і може розглядатися як кількісна характеристика маскувального потенціалу конкретного району місцевості.

Паралельно здійснюється розрахунок поведінкової складової моделі. На відміну від природних факторів, які визначаються властивостями навколишнього середовища, поведінкові показники залежать від дій особового

складу та рівня підготовленості військовослужбовців. У процесі обчислень враховується ступінь дотримання вимог маскування, ефективність вибору маршрутів пересування, раціональність використання природних укриттів і своєчасність зміни способів діяльності залежно від обстановки. Кожному фактору надається відповідна вага, після чого визначається інтегральний коефіцієнт поведінкової складової.

Особливістю запропонованого алгоритму є те, що природна та поведінкова складові розглядаються як взаємодоповнювальні елементи єдиного процесу. Навіть за наявності сприятливих природних умов низький рівень дисципліни маскування здатний суттєво знизити загальну ефективність приховання. Аналогічно високий рівень підготовленості особового складу не може повністю компенсувати відсутність природних маскувальних властивостей місцевості. Саме тому інтегральний коефіцієнт результативності визначається шляхом поєднання обох складових у межах єдиної математичної залежності.

Після визначення інтегрального показника виконується аналіз отриманого результату. Інтерпретація значень коефіцієнта здійснюється з урахуванням характеру виконуваного завдання, умов місцевості та можливостей засобів повітряної розвідки противника. Низькі значення свідчать про недостатній рівень прихованості та потребу у вдосконаленні організації маскування, тоді як високі значення характеризують ефективне використання природного середовища та правильне виконання заходів щодо зниження інформаційної помітності особового складу.

Важливим елементом алгоритму є перевірка достовірності отриманих результатів. З цією метою здійснюється порівняння розрахункових значень із результатами натурних експериментів, проведених у різних природних умовах. Така процедура дозволяє оцінити ступінь відповідності математичної моделі реальним процесам та визначити межі її практичного застосування. Наявність статистично підтвердженого збігу між прогнозованими та експериментальними показниками свідчить про адекватність розробленого алгоритму і можливість його використання для вирішення прикладних завдань військової практики.

Для забезпечення практичного застосування методики необхідно встановити межі оцінювання інтегрального коефіцієнта. Проведений аналіз результатів досліджень та логіка функціонування моделі дозволяють запропонувати шкалу, наведену у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12. – Критерії оцінювання ефективності природного маскування

Значення коеф. $K_{рез}$	Рівень ефективності	Характеристика прихованості	Практичне рішення
0,00–0,20	Незадовільний	Особовий склад легко виявляється	Виконання завдання недоцільне
0,21–0,40	Низький	Висока ймовірність виявлення	Необхідне суттєве вдосконалення заходів
0,41–0,60	Задовільний	Часткове забезпечення прихованості	Виконання можливе за обмежених умов
0,61–0,80	Високий	Стійке зниження ймовірності виявлення	Доцільне виконання більшості завдань
0,81–1,00	Дуже високий	Максимальна реалізація можливостей природного маскування	Оптимальні умови виконання завдання

Запропонована градація дозволяє здійснювати однакове трактування результатів незалежно від виду місцевості чи типу застосованого засобу повітряної розвідки.

У процесі апробації встановлено, що запропонований алгоритм забезпечує стійкість результатів за зміни вхідних параметрів та дозволяє оперативно оцінювати наслідки зміни окремих факторів. Це створює можливість використання алгоритму не лише як інструмента післяекспериментального аналізу, а й як засобу прогнозування під час підготовки та планування дій розвідувальних підрозділів. Командир або начальник розвідки отримує можливість заздалегідь оцінити очікуваний рівень прихованості, визначити найбільш уразливі елементи системи маскування та своєчасно скоригувати порядок виконання завдання.

Таким чином, розроблений алгоритм розрахунку коефіцієнта результативності забезпечує практичну реалізацію запропонованої математичної моделі та створює формалізовану основу для кількісного оцінювання ефективності природного маскування особового складу. Його використання дозволяє інтегрувати різнорідні фактори в межах єдиної системи оцінювання, забезпечує об'єктивність отриманих результатів і створює передумови для подальшого впровадження сучасних методів підтримки прийняття рішень у діяльність органів військового управління та розвідувальних підрозділів.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі науково-дослідної роботи розроблено математичний апарат оцінювання результативності проведення заходів природного маскування особового складу розвідувальних підрозділів в умовах застосування сучасних засобів повітряної розвідки. Побудована математична модель забезпечує формалізований опис процесів зниження ймовірності

виявлення людини шляхом комплексного врахування характеристик природного середовища та особливостей діяльності особового складу. На відміну від існуючих підходів, орієнтованих переважно на якісне оцінювання маскувальних властивостей місцевості, запропонована модель дозволяє здійснювати кількісне прогнозування ефективності використання природних факторів для підвищення прихованості підрозділів.

У ході дослідження сформовано загальну структуру математичної моделі, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між характеристиками навколишнього середовища, поведінковими особливостями особового складу та інтегральним показником результативності природного маскування. Встановлено, що процес зниження ймовірності виявлення має багатофакторний характер і визначається одночасним впливом рельєфу місцевості, рослинного покриву, метеорологічних умов, рівня освітленості, особливостей пересування, дотримання маскувальної дисципліни та інших чинників, які взаємодіють між собою та формують сумарний ефект прихованості.

Розроблена математична модель природної складової дозволила формалізувати вплив основних елементів природного середовища на зменшення інформаційної помітності особового складу. Проведене узагальнення показало, що ефективність використання природних умов визначається не окремими властивостями місцевості, а їх сукупною дією, яка створює просторові, візуальні та теплові перешкоди для роботи засобів повітряної розвідки. Запропонований підхід забезпечив можливість кількісного врахування внеску кожного природного фактора у формування інтегрального рівня прихованості.

Паралельно було сформовано математичну модель поведінкової складової, яка відображає вплив діяльності особового складу на можливість його виявлення. Проведений аналіз підтвердив, що навіть за сприятливих природних умов результативність маскування значною мірою залежить від правильності вибору маршруту пересування, режиму діяльності, тривалості перебування на відкритих ділянках місцевості, рівня дисципліни маскування та здатності особового складу використовувати природне середовище відповідно до його маскувального потенціалу. Отримані результати свідчать про необхідність комплексного розгляду природних і поведінкових факторів як взаємодоповнювальних складових єдиної системи забезпечення прихованості.

На основі інтеграції природної та поведінкової складових побудовано математичну модель результативності природного маскування, яка забезпечує кількісне визначення інтегрального коефіцієнта результативності. Запропонована структура моделі дозволяє враховувати як індивідуальний внесок окремих факторів, так і їх сумарний вплив на кінцевий результат. Такий підхід створює передумови для прогнозування очікуваного рівня прихованості особового складу ще на етапі планування виконання бойових завдань та вибору найбільш доцільних способів використання природного середовища.

Проведений аналіз чутливості математичної моделі дозволив встановити ступінь впливу окремих факторів на зміну інтегрального показника результативності. Отримані результати показали, що найбільший вплив на

ефективність природного маскування мають характеристики рослинного покриву, особливості рельєфу місцевості, режим пересування особового складу та рівень дотримання маскувальної дисципліни. Водночас встановлено, що вплив більшості факторів має нелінійний характер, а їх взаємодія може як посилювати, так і послаблювати загальний маскувальний ефект. Це підтверджує доцільність використання інтегральної математичної моделі замість оцінювання окремих факторів у відриві один від одного.

Розроблений алгоритм розрахунку коефіцієнта результативності забезпечив практичну реалізацію запропонованого математичного апарату. Алгоритм визначає послідовність отримання вихідних даних, нормування показників, розрахунку часткових коефіцієнтів, їх інтегрування та визначення кінцевого значення результативності природного маскування. Запропонований порядок розрахунків створює можливість використання моделі як у межах наукових досліджень, так і під час практичного планування діяльності розвідувальних підрозділів.

Узагальнення результатів проведених досліджень свідчить, що розроблена математична модель забезпечує цілісний опис закономірностей формування прихованості особового складу в умовах застосування сучасних засобів повітряної розвідки. Модель поєднує фактори природного середовища та діяльності людини в межах єдиного формалізованого підходу, дозволяє здійснювати кількісне прогнозування результативності природного маскування та створює науково-методичну основу для подальшого експериментального підтвердження отриманих теоретичних результатів. Розроблений математичний апарат виступає основою наступного етапу дослідження, пов'язаного з проведенням натурних експериментів, визначенням фактичних значень коефіцієнта результативності та перевіркою адекватності побудованої моделі в реальних умовах застосування засобів повітряної розвідки.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ

4.1. Організація натурних досліджень

Перевірка теоретичних положень, сформованих у попередніх розділах дослідження, вимагала проведення комплексу натурних експериментів, спрямованих на встановлення реального впливу природного середовища на можливість виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Необхідність виконання польових досліджень обумовлена тим, що більшість процесів, пов’язаних із формуванням демаскувальних ознак людини та їх сприйняттям оптико-електронними системами безпілотних авіаційних комплексів, мають складний багатофакторний характер і не можуть бути повністю відтворені в лабораторних умовах. Відповідно до сучасних вимог до прикладних військових досліджень лише безпосереднє спостереження за функціонуванням об’єкта в реальному природному середовищі дозволяє отримати достовірні дані, необхідні для оцінювання ефективності заходів природного маскування та перевірки адекватності побудованої математичної моделі.

Організація натурних досліджень здійснювалася на основі принципу максимально можливого наближення експериментальних умов до реальної обстановки виконання завдань розвідувальними підрозділами. Такий підхід забезпечував формування об’єктивних вихідних даних щодо впливу природних факторів на процес виявлення особового складу та дозволяв мінімізувати розбіжності між результатами експерименту і практикою бойового застосування засобів повітряної розвідки. В основу організації досліджень було покладено положення про необхідність одночасного врахування характеристик місцевості, метеорологічних умов, особливостей діяльності особового складу та технічних можливостей безпілотних авіаційних комплексів, які використовуються для ведення повітряного спостереження.

Формування програми натурних досліджень здійснювалося відповідно до загальної логіки наукового дослідження, згідно з якою експеримент повинен забезпечувати отримання кількісних даних для визначення ймовірності виявлення особового складу за різних умов використання природного середовища. Для досягнення цієї мети було передбачено проведення серії багаторазових незалежних спостережень, у ході яких здійснювалося виявлення особового складу за допомогою безпілотних літальних апаратів із використанням оптичних та тепловізійних засобів спостереження. Кожне окреме спостереження розглядалося як самостійне експериментальне випробування, результати якого надалі використовувалися для статистичного аналізу [29, 30, 34, 35].

Особлива увага приділялася вибору районів проведення експериментів. Враховуючи мету дослідження, експериментальні ділянки підбиралися таким чином, щоб забезпечити представлення основних типів природного середовища, характерних для районів діяльності розвідувальних підрозділів. До

програми досліджень були включені ділянки відкритої місцевості, лісові масиви різної густоти, пересічена місцевість із розвинутими формами рельєфу, а також території зі змішаним характером природного покриву. Такий підхід дозволив охопити широкий спектр умов спостереження та забезпечити репрезентативність отриманих результатів.

Під час вибору експериментальних полігонів враховувалися не лише природні характеристики місцевості, але й можливість безпечного виконання польотів безпілотних літальних апаратів, стабільність роботи навігаційних систем, відсутність сторонніх об’єктів, здатних впливати на результати спостережень, а також можливість багаторазового відтворення однакових умов проведення експериментів. Це забезпечувало необхідний рівень повторюваності досліджень та створювало передумови для подальшого статистичного узагальнення отриманих результатів.

Для забезпечення достовірності експериментальних даних особовий склад виконував стандартизовані сценарії діяльності, що відображали типові завдання розвідувальних підрозділів. Зміст таких сценаріїв передбачав приховане пересування визначеним маршрутом, короткочасне спостереження з обладнаних позицій, тимчасове перебування в укриттях та виконання інших дій, характерних для роботи розвідувальних груп. Уніфікація сценаріїв була необхідною умовою забезпечення порівнюваності результатів різних серій експериментів та виключення впливу випадкових змін характеру діяльності на кінцеві результати дослідження.

Важливим елементом організації натурних досліджень стало забезпечення контрольованості умов експерименту. Для кожної серії спостережень здійснювалася реєстрація характеристик навколишнього середовища, включаючи температуру повітря, швидкість і напрямок вітру, вологість, рівень природної освітленості, хмарність та інші параметри, здатні впливати на функціонування засобів повітряної розвідки. Одночасно фіксувалися характеристики рослинного покриву, особливості рельєфу, наявність природних укриттів та інші фактори, що визначають маскувальні властивості місцевості. Отримані дані використовувалися як для аналізу результатів експерименту, так і для подальшого налаштування параметрів математичної моделі.

Організація повітряного спостереження базувалася на використанні безпілотних авіаційних комплексів, оснащених сучасними оптико-електронними системами. Для забезпечення об’єктивності результатів польоти виконувалися за заздалегідь визначеними маршрутами з дотриманням встановлених висот, швидкостей та режимів спостереження. Усі параметри польоту залишалися незмінними в межах однієї серії експериментів, що дозволяло виключити вплив особливостей пілотування на результати виявлення особового складу. Реєстрація відеоматеріалів здійснювалася безперервно протягом усього періоду спостереження, що забезпечувало можливість подальшої детальної обробки та повторної перевірки результатів.

З метою підвищення достовірності отриманих даних кожна комбінація експериментальних умов відтворювалася багаторазово. Така організація

досліджень відповідала вимогам математичної статистики щодо формування репрезентативної вибірки та забезпечувала можливість визначення статистично обґрунтованих оцінок ймовірності виявлення особового складу. Багаторазове повторення експериментів дозволяло знизити вплив випадкових факторів та забезпечити необхідний рівень точності результатів.

Суттєве значення для організації досліджень мало забезпечення єдиних критеріїв реєстрації факту виявлення особового складу. Виявлення фіксувалося лише у випадках, коли оператор безпілотного авіаційного комплексу або автоматизована система аналізу зображень могли достовірно визначити місцеположення людини та підтвердити результат за допомогою подальшої перевірки відеоматеріалів. Такий підхід дозволив мінімізувати вплив суб'єктивних оцінок та забезпечити єдність трактування результатів у межах усіх експериментальних серій.

Для підвищення надійності дослідження було передбачено поетапне проведення контрольних та експериментальних серій спостережень. На контрольному етапі визначався базовий рівень виявлення особового складу за відсутності спеціально організованих заходів природного маскування. Подальші експериментальні серії проводилися після впровадження комплексу заходів, спрямованих на раціональне використання маскувальних властивостей природного середовища. Порівняння результатів цих етапів створювало можливість кількісного визначення ефекту, досягнутого внаслідок застосування природного маскування.

Загальна організація натурних досліджень була побудована таким чином, щоб забезпечити логічний зв'язок між теоретичними положеннями роботи, математичною моделлю та експериментальною перевіркою отриманих результатів. Запропонована схема проведення експериментів дозволила сформувати необхідну інформаційну базу для визначення ймовірності виявлення особового складу, розрахунку коефіцієнта результативності природного маскування, статистичного аналізу отриманих результатів та подальшої перевірки адекватності розробленої математичної моделі. Саме така організація натурних досліджень забезпечила наукову обґрунтованість експериментальної частини роботи та створила умови для отримання достовірних результатів, придатних для практичного використання під час планування діяльності розвідувальних підрозділів в умовах сучасного застосування засобів повітряної розвідки.

4.2. Методика проведення польових експериментів

Розроблення науково обґрунтованої методики проведення польових експериментів є одним із ключових етапів дослідження результативності використання природного середовища для зниження можливості виявлення особового складу розвідувальних підрозділів сучасними засобами повітряної розвідки. Від правильності побудови експериментальної методики безпосередньо залежить достовірність отриманих результатів, можливість їх подальшого статистичного узагальнення та коректність перевірки розробленої

математичної моделі. Особливого значення ця обставина набуває в умовах сучасного бойового середовища, де процес виявлення особового складу визначається складною взаємодією технічних характеристик безпілотних авіаційних комплексів, властивостей природного середовища та поведінкових особливостей людини.

На відміну від лабораторних досліджень, польовий експеримент здійснюється в умовах реальної місцевості, де одночасно діє значна кількість факторів, контроль яких є обмеженим або неможливим. Саме тому при розробленні методики особлива увага приділялася забезпеченню максимальної наближеності умов експерименту до практики діяльності розвідувальних підрозділів при одночасному збереженні можливості порівняння отриманих результатів між окремими серіями спостережень. Основним принципом побудови методики стало забезпечення відтворюваності експериментальних умов за різних варіантів застосування природного маскування.

Методика проведення польових експериментів ґрунтується на послідовному порівнянні двох режимів діяльності особового складу. Перший режим передбачає виконання визначених завдань без цілеспрямованого використання природних маскувальних властивостей місцевості та використовується для формування базового рівня виявлення. Другий режим реалізується після впровадження комплексу заходів природного маскування, спрямованих на зменшення візуальної та теплової помітності особового складу. Порівняння результатів цих двох серій дозволяє кількісно визначити ефективність застосованих заходів та оцінити ступінь впливу природного середовища на процес повітряного спостереження.

Під час організації експериментів особовий склад виконував типові для розвідувальних підрозділів дії, характер яких відображає найбільш поширені сценарії бойового застосування. До таких сценаріїв належали приховане пересування за визначеним маршрутом, короткочасне перебування на спостережному пункті, обладнання позиції спостереження, організація прихованого відпочинку, зміна місця розташування після виконання завдання та перебування в режимі очікування. Вибір саме таких сценаріїв обумовлений тим, що вони характеризуються різними рівнями демаскувальних проявів і дозволяють дослідити широкий спектр поведінкових факторів, які впливають на можливість виявлення людини засобами повітряної розвідки.

Для забезпечення порівнюваності результатів усі експериментальні серії проводилися за уніфікованою процедурою. Перед початком кожного польоту визначалися координати району дослідження, маршрут руху особового складу, послідовність виконання елементів завдання та порядок застосування засобів спостереження. Для виключення впливу сторонніх факторів використовувалися однакові засоби екіпірування, спорядження та засоби зв'язку. Особовий склад не інформувався про конкретний час початку пошуку з боку безпілотного літального апарата, що дозволяло зменшити вплив психологічної підготовленості на результати спостережень.

Польоти безпілотних літальних апаратів здійснювалися за попередньо визначеними маршрутами, які забезпечували однакові умови огляду місцевості

в усіх серіях експерименту. Висота польоту, швидкість руху, параметри роботи оптичних та тепловізійних сенсорів підтримувалися на постійному рівні протягом усього циклу досліджень. Такий підхід дозволив мінімізувати вплив технічних відмінностей між окремими польотами та зосередити увагу на дослідженні саме природних і поведінкових факторів маскування.

Важливим елементом методики стало використання декількох режимів повітряного спостереження. У денний час основний обсяг інформації отримувався за допомогою телевізійних камер високої роздільної здатності. Для дослідження теплової помітності особового складу використовувалися тепловізійні системи, які дозволяли фіксувати розподіл температурних контрастів між людиною та навколишнім середовищем. Поєднання результатів оптичного та тепловізійного спостереження створило можливість комплексного оцінювання ефективності природного маскування в різних спектральних діапазонах.

Особлива увага приділялася вибору районів проведення експериментів. З метою дослідження впливу різних природних умов були сформовані декілька типових категорій місцевості, які характеризують найбільш поширені умови діяльності розвідувальних підрозділів. До дослідження включалися лісові масиви з різною щільністю кронового покриву, чагарникові ділянки, відкриті поля, пересічена місцевість із природними складками рельєфу, балки, яри та змішані ландшафти. Такий підхід забезпечив можливість аналізу впливу просторової структури природного середовища на ефективність прихованого розміщення особового складу.

Для забезпечення об'єктивності результатів кожна комбінація умов досліджувалася шляхом багаторазового повторення експерименту. Кількість повторень визначалася відповідно до вимог математичної статистики та забезпечувала отримання статистично достовірних оцінок. Повторні спостереження проводилися у різний час доби та за різних метеорологічних умов, що дозволило оцінити вплив випадкових природних чинників на результати виявлення.

Реєстрація результатів здійснювалася шляхом одночасного використання декількох незалежних джерел інформації. Первинні дані формувалися безпосередньо під час роботи оператора безпілотного авіаційного комплексу. Додатково виконувалося автоматичне збереження відеозаписів оптичного та тепловізійного каналів спостереження. Після завершення польоту проводився повторний аналіз записаних матеріалів із залученням контрольної групи фахівців, що дозволяло усунути можливі помилки первинного спостереження та підвищити достовірність результатів.

Критерієм успішного виявлення вважалося достовірне встановлення місця перебування особового складу з використанням хоча б одного каналу спостереження. Якщо оператор або система автоматичного супроводження могли однозначно локалізувати об'єкт і підтвердити його належність до особового складу, результат фіксувався як позитивний. У разі неможливості впевненої ідентифікації результат вважався негативним. Такий підхід дозволив

уникнути неоднозначного трактування окремих ситуацій і забезпечив єдину систему оцінювання для всіх серій дослідження.

Отримані в процесі польових експериментів дані підлягали попередній систематизації та подальшій статистичній обробці. Для кожної серії формувалися масиви первинних результатів, які містили інформацію про умови місцевості, характеристики рослинності, метеорологічні параметри, режим діяльності особового складу, тип використаного сенсора та результат спостереження. Надалі ці дані використовувалися для визначення ймовірності виявлення, розрахунку коефіцієнта результативності природного маскування та перевірки адекватності математичної моделі.

Таким чином, розроблена методика проведення польових експериментів забезпечує комплексне дослідження процесів виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки в умовах реального природного середовища. Її структура поєднує вимоги натурного експерименту, принципи військово-прикладних досліджень і положення математичної статистики, що створює надійну методичну основу для отримання достовірних результатів та їх подальшого використання під час оцінювання результативності природного маскування розвідувальних підрозділів.

4.3. Результати натурних досліджень

Натурні дослідження, проведені в межах науково-дослідної роботи, стали основним джерелом емпіричних даних для оцінювання результативності використання природного середовища з метою зниження ймовірності виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Отримані результати дозволили перейти від теоретичних припущень та аналітичних оцінок до кількісного визначення реального впливу природних і поведінкових факторів на процес виявлення людини засобами дистанційного спостереження. Саме натурний експеримент забезпечив можливість встановлення об'єктивних закономірностей формування прихованості особового складу в умовах, максимально наближених до реальної діяльності розвідувальних підрозділів.

Проведені дослідження охоплювали широкий спектр природних умов, які відображають характерні особливості місцевості, на якій найбільш часто виконуються завдання розвідувального забезпечення. Експериментальні спостереження здійснювалися на ділянках із різною структурою рослинного покриву, різним ступенем відкритості місцевості та неоднаковими можливостями використання природних укриттів. Такий підхід дозволив отримати репрезентативний масив результатів, достатній для оцінювання впливу основних складових природного середовища на можливість повітряного виявлення особового складу.

Аналіз результатів контрольних серій показав, що за відсутності спеціально організованого використання природних маскувальних властивостей місцевості ймовірність виявлення особового складу залишається достатньо високою незалежно від характеру місцевості. Найбільш сприятливі

умови для роботи засобів повітряної розвідки спостерігалися на відкритих ділянках, де відсутність природних перешкод забезпечувала практично безперервний огляд території як у видимому, так і в інфрачервоному діапазонах. За таких умов оператори безпілотних авіаційних комплексів впевнено локалізували місце перебування особового складу навіть за умови короткочасного перебування на відкритій місцевості.

Разом із тим результати досліджень підтвердили суттєвий вплив просторової структури природного середовища на процес виявлення. У районах із розвиненим деревним та чагарниковим покривом спостерігалося значне зниження ймовірності виявлення. Особливо помітний ефект досягався у випадках, коли природні маскувальні властивості місцевості поєднувалися з правильним вибором маршрутів пересування та дотриманням вимог маскувальної дисципліни. У таких умовах природне середовище виконувало не лише функцію фізичного екранування, а й сприяло зменшенню контрастності людини відносно навколишнього фону.

Порівняльний аналіз результатів оптичного та тепловізійного спостереження показав істотні відмінності в ефективності виявлення залежно від спектрального діапазону роботи сенсорів. У денних умовах основним фактором, що впливав на можливість виявлення, була структура рослинності та ступінь фонової неоднорідності місцевості. Наявність крон дерев, густих чагарників, тіньових зон і складних елементів рельєфу значно ускладнювала процес пошуку людини на відеозображенні. Водночас тепловізійні засоби спостереження демонстрували більшу стійкість до впливу візуального маскування, оскільки дозволяли виявляти теплові контрасти навіть за часткового перекриття об'єкта рослинністю.

Результати досліджень підтвердили, що ефективність тепловізійного виявлення значною мірою залежить від температурного режиму навколишнього середовища. У ранкові та вечірні години, коли температурний контраст між тілом людини та навколишнім фоном досягав максимальних значень, можливості тепловізійних систем були найвищими. У денний період за умов інтенсивного прогрівання поверхні ґрунту, каміння та рослинності рівень теплового контрасту зменшувався, що призводило до зниження ймовірності впевненого розпізнавання людини. Це підтверджує необхідність урахування добових температурних циклів під час організації прихованої діяльності особового складу.

Отримані експериментальні результати свідчать про те, що сама наявність сприятливих природних умов ще не гарантує досягнення високого рівня прихованості. Аналіз серій спостережень показав, що однакові природні умови можуть забезпечувати суттєво різний рівень захищеності залежно від характеру поведінки особового складу. Найбільш вагомий вплив справляли швидкість пересування, тривалість перебування на відкритих ділянках, раціональність вибору маршруту, використання природних укриттів та дисципліна виконання маскувальних заходів. Це підтвердило висунуте на попередніх етапах дослідження припущення щодо необхідності розгляду

природної та поведінкової складових як взаємопов'язаних елементів єдиної системи забезпечення прихованості.

Особливий інтерес становлять результати досліджень, отримані під час використання комплексного підходу до природного маскування. У серіях експериментів, де одночасно використовувалися переваги рельєфу місцевості, природного рослинного покриву та оптимізованих режимів діяльності особового складу, спостерігалося найбільше зниження ймовірності виявлення. У порівнянні з контрольними серіями кількість успішних випадків виявлення зменшувалася більш ніж удвічі, що свідчить про наявність синергетичного ефекту від поєднання різних способів природного маскування.

Обробка результатів усіх експериментальних серій дозволила визначити середні значення ймовірності виявлення для різних категорій місцевості та умов спостереження. Встановлено, що найбільший позитивний вплив на прихованість особового складу забезпечують ділянки з багатоярусною структурою рослинності та складним рельєфом. У таких умовах ефективність засобів повітряної розвідки суттєво знижується через обмеження прямої видимості, зменшення теплового контрасту та збільшення кількості фонових об'єктів, які ускладнюють процес розпізнавання цілі.

Проведений аналіз також підтвердив існування різної значущості окремих природних факторів. Найбільший внесок у зниження можливості виявлення забезпечували щільність рослинного покриву та ступінь захисних властивостей рельєфу. Водночас метеорологічні умови мали більш складний характер впливу. У ряді випадків хмарність та зниження освітленості сприяли зменшенню ефективності оптичних систем спостереження, проте одночасно покращували умови роботи тепловізійних сенсорів. Це підтверджує необхідність комплексного врахування усіх факторів під час прогнозування результативності природного маскування.

Статистична обробка експериментальних результатів засвідчила достатньо високий рівень їх однорідності. Значення коефіцієнтів варіації не перевищували меж, прийнятих для польових військово-прикладних досліджень, що свідчить про стабільність отриманих закономірностей. Довірчі інтервали визначених показників залишалися в допустимих межах, а кількість повторень забезпечила необхідний рівень статистичної достовірності. Отримані результати можуть розглядатися як репрезентативні для досліджуваних умов і придатні для подальшого використання під час побудови математичної моделі.

Важливим результатом натурних досліджень стало підтвердження можливості кількісного опису процесу формування прихованості особового складу за допомогою інтегрального коефіцієнта результативності природного маскування. Встановлено, що зміна умов місцевості, характеристик рослинності та особливостей діяльності особового складу призводить до передбачуваної зміни цього показника, що створює необхідні передумови для математичного моделювання досліджуваного процесу. Отримані емпіричні залежності стали основою для подальшого визначення вагових коефіцієнтів окремих факторів та перевірки адекватності розробленої моделі.

Таким чином, результати натурних досліджень підтвердили суттєвий вплив природного середовища на можливість виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Встановлено, що раціональне використання природних маскувальних властивостей місцевості у поєднанні з правильно організованою діяльністю особового складу забезпечує значне зниження ймовірності виявлення та створює об'єктивні передумови для підвищення живучості розвідувальних підрозділів. Отримані результати сформували експериментальну основу для подальшого математичного узагальнення закономірностей природного маскування та розроблення практичних рекомендацій щодо їх застосування під час виконання бойових завдань.

4.4. Статистична обробка експериментальних результатів

Статистична обробка експериментальних результатів є завершальним етапом експериментального дослідження та відіграє визначальну роль у забезпеченні достовірності отриманих висновків щодо результативності проведення заходів природного маскування особового складу. Особливість натурних досліджень полягає в тому, що навіть за максимальної стандартизації умов проведення експерименту результати окремих спостережень неминуче зазнають впливу значної кількості випадкових факторів. До таких факторів належать незначні зміни погодних умов, коливання освітленості місцевості, відмінності у стані рослинного покриву, особливості функціонування оптико-електронних засобів спостереження, помилки операторів безпілотних авіаційних комплексів, а також природна мінливість поведінки особового складу під час виконання поставлених завдань. За цих умов окремий результат не може розглядатися як достатня підстава для формування наукових висновків, а тому виникає необхідність застосування методів математичної статистики, які дозволяють виділити стійкі закономірності та усунути вплив випадкових відхилень [23-27, 32].

У межах проведеного дослідження статистична обробка виконувалася після завершення кожної серії натурних експериментів та охоплювала весь масив отриманих даних. Первинною інформаційною основою слугували результати багаторазових незалежних спостережень щодо виявлення особового складу засобами повітряної розвідки за різних умов використання природного середовища. Для кожної експериментальної серії визначалися значення ймовірності виявлення до впровадження заходів природного маскування та після їх реалізації. На основі цих даних розраховувався коефіцієнт результативності природного маскування, який надалі виступав основною статистичною характеристикою дослідження.

Формування статистичної вибірки здійснювалося шляхом об'єднання результатів усіх незалежних експериментальних серій, виконаних відповідно до єдиної методики проведення польових досліджень. Кожне отримане значення коефіцієнта результативності розглядалося як окреме спостереження, що відображає ефективність використання природного середовища в конкретних

умовах виконання завдання. Такий підхід дозволив забезпечити достатню репрезентативність вибірки та створив необхідні передумови для застосування класичних статистичних методів оцінювання.

Першочерговим завданням статистичної обробки стало визначення середнього значення коефіцієнта результативності природного маскування. Використання середнього арифметичного дозволило перейти від аналізу окремих експериментальних результатів до узагальненої характеристики ефективності досліджуваного явища. Отримана величина відображала типовий рівень зниження ймовірності виявлення особового складу за рахунок використання природних маскувальних властивостей місцевості та відповідних способів організації діяльності підрозділів. Завдяки усередненню було мінімізовано вплив випадкових коливань, характерних для окремих експериментів, що підвищило об'єктивність подальших висновків.

Разом із визначенням середнього значення було виконано оцінювання ступеня розсіювання експериментальних результатів. Для цього обчислювалося середньоквадратичне відхилення, яке характеризує міру відхилення окремих результатів від середнього значення. Аналіз отриманих значень показав, що більшість результатів зосереджена в порівняно вузькому інтервалі навколо середнього значення коефіцієнта результативності. Це свідчить про достатню стабільність ефекту природного маскування та підтверджує відтворюваність отриманих результатів у різних серіях польових досліджень.

Для оцінювання однорідності вибірки додатково визначався коефіцієнт варіації, який дозволяє оцінити рівень мінливості результатів незалежно від абсолютного значення досліджуваного показника. Отримані результати засвідчили, що коефіцієнт варіації перебуває в межах, характерних для однорідних статистичних сукупностей. Це підтверджує коректність об'єднання результатів окремих експериментальних серій у межах єдиної вибірки та свідчить про відсутність істотних аномальних відхилень, які могли б спотворити загальні результати дослідження.

Важливою складовою статистичної обробки стало визначення довірчих меж отриманих оцінок. Побудова довірчих інтервалів дозволила кількісно оцінити точність визначення середнього значення коефіцієнта результативності та встановити межі, в яких із заданою ймовірністю перебуває істинне значення досліджуваного показника. Для розрахунку використовувався критерій Стьюдента, що є загальноприйнятим підходом під час аналізу вибірок обмеженого обсягу. Отримані довірчі інтервали виявилися достатньо вузькими, що свідчить про високу надійність результатів експериментального дослідження та незначний рівень статистичної невизначеності [23-27, 32].

Окрему увагу було приділено перевірці характеру розподілу експериментальних результатів. Відомо, що коректність застосування багатьох статистичних методів залежить від виконання припущення щодо нормального закону розподілу випадкових величин. Аналіз експериментальних даних показав, що за достатньої кількості повторень розподіл значень коефіцієнта результативності наближається до нормального, що узгоджується з положеннями центральної граничної теореми. Для підтвердження цього

припущення використовувалися загальноприйняті критерії перевірки нормальності розподілу. Отримані результати дозволили застосовувати параметричні методи статистичного аналізу без суттєвих обмежень.

Особливе значення в межах статистичної обробки мало оцінювання адекватності розробленої математичної моделі. Для цього здійснювалося порівняння експериментально визначених значень коефіцієнта результативності з відповідними результатами математичного моделювання. Для кожної експериментальної серії визначалося абсолютне відхилення між прогнозованим і фактичним результатом. Подальше усереднення отриманих значень дозволило визначити середню абсолютну похибку моделі. Проведені розрахунки показали, що величина похибки є незначною та не перевищує меж, прийнятих для прикладних військових досліджень.

Для більш повної характеристики точності моделі додатково обчислювалася середня відносна похибка. Використання цього показника дозволило врахувати масштаб досліджуваних величин і забезпечити можливість об'єктивного порівняння результатів для різних умов експерименту. Отримані значення відносної похибки свідчать про високий ступінь відповідності між результатами математичного моделювання та даними натурних досліджень. Встановлено, що середня відносна похибка не перевищує межі, визначеної як критерій адекватності математичної моделі, що підтверджує правильність обраної структури моделі та коректність використаних математичних залежностей.

Для оцінювання впливу окремих факторів на результативність природного маскування було проведено кореляційний аналіз. Його застосування дозволило визначити ступінь статистичного зв'язку між окремими характеристиками природного середовища, параметрами діяльності особового складу та інтегральним коефіцієнтом результативності. Результати аналізу засвідчили наявність суттєвих кореляційних залежностей між рядом досліджуваних факторів і рівнем прихованості особового складу. Найбільш значущий вплив продемонстрували характеристики рослинного покриву, рельєф місцевості, тривалість перебування на відкритих ділянках та інтенсивність теплового випромінювання особового складу [23-27, 31, 32].

На основі результатів кореляційного аналізу було виконано уточнення вагових коефіцієнтів, використаних у структурі математичної моделі. На відміну від традиційного експертного підходу, у даному дослідженні вагові коефіцієнти визначалися з урахуванням фактичного внеску кожного фактора у зміну інтегрального показника результативності. Такий підхід забезпечив більш високий рівень об'єктивності та підвищив наукову обґрунтованість отриманої моделі.

Підсумковим результатом статистичної обробки стало формування узагальненої сукупності статистичних показників, які характеризують достовірність і стійкість отриманих результатів. Комплексний аналіз середніх значень, показників розсіювання, довірчих меж, похибок моделювання та кореляційних залежностей дозволив зробити висновок про високу якість проведеного експериментального дослідження. Отримані результати

підтвердили статистичну значущість встановлених закономірностей та забезпечили необхідне наукове підґрунтя для формування практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності природного маскування особового складу розвідувальних підрозділів в умовах сучасного застосування засобів повітряної розвідки.

4.5. Перевірка адекватності математичної моделі

Завершальним етапом експериментальної частини дослідження стала перевірка адекватності розробленої математичної моделі результативності проведення заходів природного маскування особового складу. Необхідність виконання такого етапу обумовлена тим, що будь-яка математична модель, незалежно від рівня її складності та ступеня деталізації, являє собою спрощене відображення реальних процесів і може бути використана для прогнозування лише за умови підтвердження її відповідності фактичним результатам спостережень. У контексті проведеного дослідження перевірка адекватності мала особливе значення, оскільки розроблена модель призначена для оцінювання ефективності природного маскування в умовах сучасного застосування засобів повітряної розвідки та повинна забезпечувати можливість практичного використання під час планування дій розвідувальних підрозділів.

Побудова математичної моделі ґрунтувалася на припущенні про те, що рівень результативності природного маскування формується під сукупним впливом двох взаємопов'язаних груп чинників. Перша група охоплює характеристики природного середовища, які визначають здатність місцевості знижувати помітність особового складу у видимому та інфрачервоному спектральних діапазонах. Друга група відображає особливості поведінки особового складу під час виконання завдань та характеризує ступінь реалізації потенціалу природного середовища шляхом правильного вибору маршрутів, використання укриттів, дотримання режиму маскування та обмеження демаскувальних проявів. Відповідно до прийнятої концепції інтегральний коефіцієнт результативності визначався на основі поєднання природної та поведінкової складових, що дозволяло врахувати як об'єктивні властивості місцевості, так і суб'єктивний вплив дій особового складу.

Перевірка адекватності моделі здійснювалася шляхом порівняння результатів математичного моделювання з даними, отриманими під час натурних досліджень. Для кожної серії експериментів визначалося експериментальне значення коефіцієнта результативності, яке відображало фактичне зниження ймовірності виявлення після реалізації комплексу заходів природного маскування. Паралельно для тих самих умов виконувалися розрахунки за допомогою розробленої математичної моделі. Такий підхід дозволив забезпечити пряме зіставлення прогнозованих і фактичних результатів без додаткових припущень та спрощень.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав високий ступінь відповідності між прогнозованими та експериментально встановленими значеннями коефіцієнта результативності. Для всіх досліджених варіантів

використання природного середовища розрахункові результати відтворювали основні закономірності, виявлені під час натурних експериментів. При збільшенні ефективності використання природних укриттів модель прогнозувала зростання коефіцієнта результативності, тоді як погіршення умов маскування супроводжувалося відповідним зниженням розрахункових показників. Така узгодженість свідчить про правильність обраної структури моделі та адекватність використаних математичних залежностей.

Важливою складовою перевірки стала оцінка абсолютних відхилень між розрахунковими та експериментальними результатами. Для кожної експериментальної серії визначалися величини залишків, які характеризували різницю між фактичним і прогнозованим значеннями інтегрального коефіцієнта результативності. Проведений аналіз показав, що величини залишків мають незначний характер і перебувають у межах статистично допустимих відхилень для польових досліджень. При цьому не було виявлено систематичного зміщення результатів у бік завищення або заниження прогнозованих значень. Відсутність такого зміщення свідчить про збалансованість математичної моделі та правильний вибір функціональних залежностей між досліджуваними факторами.

Для отримання узагальненої оцінки точності прогнозування було визначено середню абсолютну похибку моделі. Отримані результати засвідчили, що середнє відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями є незначним порівняно з діапазоном зміни інтегрального коефіцієнта результативності. Це підтверджує здатність моделі відтворювати реальні закономірності процесу формування прихованості особового складу та свідчить про її придатність для практичних розрахунків.

Разом із абсолютними показниками було виконано оцінювання відносної похибки прогнозування. Використання відносної похибки дозволило врахувати масштаб досліджуваних величин та забезпечило можливість об'єктивного порівняння точності моделі для різних експериментальних ситуацій. Аналіз показав, що середня відносна похибка перебуває в межах, характерних для прикладних математичних моделей військового призначення. Отримані значення істотно менші за граничний рівень, прийнятий як критерій адекватності моделі, що свідчить про високий рівень відповідності між прогнозом і фактичними результатами.

Додатковим напрямом перевірки стала оцінка статистичного взаємозв'язку між експериментальними та розрахунковими значеннями коефіцієнта результативності. Для цього було проведено кореляційний аналіз, який дозволив визначити ступінь узгодженості між двома сукупностями результатів. Отримані значення коефіцієнта кореляції свідчать про наявність дуже сильного позитивного зв'язку між результатами натурних досліджень та прогнозами математичної моделі. Це означає, що зміна експериментально встановленого рівня результативності супроводжується пропорційною зміною розрахункових значень, що підтверджує правильність логіки побудови моделі.

Подальший аналіз передбачав визначення коефіцієнта детермінації, який характеризує частку варіації експериментальних результатів, пояснену

факторами, врахованими математичною моделлю. Високе значення цього показника засвідчило, що переважна більшість змін рівня результативності природного маскування пояснюється саме впливом параметрів, включених до структури моделі. Частка неврахованих впливів виявилася незначною та може бути пояснена випадковими змінами погодних умов, особливостями функціонування технічних засобів спостереження або іншими чинниками, які неможливо повністю формалізувати під час математичного опису реальних процесів.

Особливе значення мало дослідження структури залишків моделі. Відомо, що адекватна математична модель повинна характеризуватися випадковим характером залишкових відхилень без наявності прихованих закономірностей. Проведений аналіз показав, що залишки не демонструють тенденцій до зростання або зменшення зі зміною значення коефіцієнта результативності, не утворюють групувань та не виявляють ознак функціональної залежності від будь-якого з досліджуваних факторів. Такий характер розподілу підтверджує коректність вибору структури моделі та відсутність необхідності введення додаткових залежностей або коригувальних коефіцієнтів.

З метою отримання статистично обґрунтованого висновку щодо адекватності моделі було проведено перевірку гіпотези про відсутність суттєвих відмінностей між експериментальними та розрахунковими результатами. Застосування відповідних статистичних критеріїв показало, що виявлені відхилення мають випадковий характер і не досягають рівня статистичної значущості. Це означає, що різниця між прогнозом математичної моделі та результатами натурних досліджень не перевищує меж, які можуть бути пояснені випадковими похибками експерименту.

Одержані результати дозволяють стверджувати, що розроблена математична модель із достатньо високою точністю відображає закономірності формування результативності природного маскування особового складу в умовах застосування сучасних засобів повітряної розвідки. Поєднання низького рівня похибок, високих значень показників кореляції та детермінації, відсутності систематичних залишків і статистично значущих розбіжностей між експериментальними та розрахунковими даними підтверджує її адекватність реальним процесам. Це створює науково обґрунтовані передумови для використання моделі не лише як інструмента аналізу результатів проведених досліджень, а й як засобу прогнозування ефективності природного маскування на етапі підготовки та планування дій розвідувальних підрозділів. Застосування моделі дозволяє завчасно оцінювати можливий рівень прихованості особового складу, визначати найбільш доцільні способи використання природного середовища та обґрунтовувати управлінські рішення щодо організації розвідувальної діяльності в умовах сучасного інформаційного протиборства.

Висновки до розділу 4

Проведений комплекс натурних досліджень забезпечив отримання експериментальної бази даних, необхідної для перевірки висунутих наукових положень щодо впливу природного середовища на можливість виявлення особового складу засобами повітряної розвідки. Реалізована організація польових досліджень дозволила забезпечити єдність умов проведення експериментів, відтворюваність результатів та можливість їх подальшого статистичного аналізу. Вибрана структура експерименту враховувала особливості функціонування сучасних безпілотних авіаційних комплексів, багатоспектральний характер спостереження, різноманітність природних умов та специфіку діяльності особового складу під час виконання розвідувальних завдань.

У процесі натурних досліджень підтверджено, що ймовірність виявлення особового складу визначається не окремими характеристиками місцевості або діяльності людини, а результатом одночасного впливу комплексу природних і поведінкових факторів. Встановлено, що використання захисних властивостей рельєфу, рослинного покриву, природних укриттів і раціональних маршрутів пересування суттєво знижує інформаційну помітність особового складу як у видимому, так і в інфрачервоному діапазонах спостереження. Отримані результати свідчать про наявність стійкої залежності між рівнем використання природних маскувальних властивостей місцевості та зменшенням імовірності виявлення сучасними засобами повітряної розвідки.

Результати експериментальних серій дозволили визначити фактичні значення коефіцієнта результативності природного маскування для різних комбінацій умов спостереження. Аналіз отриманих даних показав, що найбільший вплив на зниження ймовірності виявлення мають характеристики рослинності, ступінь екранування теплового випромінювання, використання складок місцевості та дисципліна маскування особового складу. Водночас встановлено, що ефективність окремих заходів значною мірою залежить від типу сенсорів повітряної розвідки та конкретних умов їх застосування, що підтверджує необхідність комплексного підходу до оцінювання прихованості.

Статистична обробка експериментальних результатів підтвердила достатній рівень достовірності отриманих даних. Розраховані середні значення, показники варіації та довірчі інтервали свідчать про однорідність сформованих вибірок і відсутність критичних випадкових відхилень, здатних суттєво вплинути на результати дослідження. Отримані значення коефіцієнта варіації перебувають у межах, характерних для польових військових експериментів, що підтверджує коректність організації експериментального процесу та достатність обсягу вибірки для формування статистично обґрунтованих висновків.

Порівняння експериментальних результатів із розрахунковими значеннями, отриманими за допомогою розробленої математичної моделі, продемонструвало високий ступінь їх відповідності. Встановлено, що середня відносна похибка прогнозування не перевищує прийнятого критерію

адекватності, а коефіцієнти кореляції та детермінації свідчать про наявність сильного статистичного зв'язку між результатами моделювання та даними натурних досліджень. Аналіз залишків не виявив систематичних відхилень, що підтверджує правильність вибору структури моделі та достатню повноту врахування основних факторів, які впливають на результативність природного маскування.

Виконана перевірка адекватності дозволила підтвердити наукову обґрунтованість розробленої математичної моделі та можливість її використання для прогнозування ефективності заходів природного маскування в різних умовах обстановки. Отримані результати засвідчили, що модель коректно відображає закономірності формування прихованості особового складу та забезпечує прийнятну точність оцінювання рівня його захищеності від сучасних засобів повітряної розвідки.

Загалом результати четвертого розділу підтвердили справедливість основних положень дослідження щодо визначального впливу природного середовища на можливість виявлення особового складу та довели ефективність запропонованого науково-методичного підходу до оцінювання результативності природного маскування. Сформована експериментальна база, результати статистичного аналізу та підтверджена адекватність математичної моделі створюють достатні підстави для практичного використання розробленого методичного апарату під час планування дій розвідувальних підрозділів і обґрунтування рекомендацій щодо підвищення їх прихованості в умовах сучасного застосування засобів повітряної розвідки.

5. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДНОГО МАСКУВАННЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ

5.1. Рекомендації щодо використання рельєфу

Рельєф місцевості є одним із найважливіших природних чинників, що визначають можливість виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Його значення обумовлене здатністю природних форм земної поверхні змінювати умови прямої видимості, обмежувати можливості огляду з повітряних платформ, створювати зони радіолокаційної, оптичної та теплової тіні, а також впливати на характер поширення електромагнітного випромінювання в різних діапазонах спектра. Результати проведених досліджень підтвердили, що грамотне використання рельєфу дозволяє суттєво знизити ймовірність виявлення особового складу навіть за умови застосування сучасних багатоспектральних засобів спостереження, оснащених телевізійними, тепловізійними та автоматизованими системами розпізнавання цілей.

Особливість сучасних засобів повітряної розвідки полягає у можливості здійснення спостереження з різних висот і напрямків, що істотно зменшує ефективність традиційних способів маскування, орієнтованих переважно на приховування від наземного спостерігача. У таких умовах саме рельєф стає одним із небагатьох природних факторів, здатних фізично обмежувати поле зору сенсорів безпілотних авіаційних комплексів. На відміну від штучних засобів маскування, рельєф не створює додаткових демаскувальних ознак, не потребує спеціального обладнання та доступний для використання в більшості районів виконання завдань.

Аналіз результатів натурних досліджень показав, що найбільшу маскувальну цінність мають форми рельєфу, які забезпечують екранування особового складу від прямих ліній спостереження. До таких форм належать балки, яри, лощини, улоговини, карстові заглиблення, тераси, уступи, природні заглиблення схилів та інші елементи мікрорельєфу. Їх використання дозволяє суттєво скоротити час перебування особового складу в зоні прямої видимості та створити додаткові перешкоди для автоматизованих алгоритмів виявлення людини на аерофотознімках і відеозображеннях.

Особливу увагу під час планування маршрутів пересування доцільно приділяти використанню зворотних схилів висот. Встановлено, що переміщення особового складу по схилах, які не спостерігаються безпосередньо з напрямку польоту безпілотного літального апарата, забезпечує істотне зменшення ймовірності виявлення. Ефект досягається завдяки тому, що значна частина траєкторії руху опиняється в зоні геометричного затінення, де засоби спостереження не мають прямої видимості об'єкта. Навіть за наявності тепловізійних сенсорів рельєф виступає природним екраном, який ускладнює формування стійкої теплової сигнатури людини на фоні навколишнього середовища.

Важливим напрямом практичного використання рельєфу є вибір маршрутів пересування, що максимально повторюють природні лінії місцевості. Переміщення вздовж днищ балок, русел пересохлих водотоків, природних понижень та меж різних форм рельєфу дозволяє не лише обмежити видимість з повітря, а й зменшити контрастність об'єкта відносно навколишнього фону. У результаті особовий склад значно рідше потрапляє до ділянок, де алгоритми автоматичного розпізнавання можуть виділити характерний силует людини.

Дослідження показали, що ефективність використання рельєфу суттєво залежить від висоти польоту засобів повітряної розвідки. За збільшення висоти польоту зона огляду розширюється, проте одночасно зменшується деталізація зображення. У таких умовах навіть незначні форми мікрорельєфу можуть відігравати важливу роль у приховуванні особового складу. За низьких висот польоту значення великих форм рельєфу зростає, оскільки саме вони створюють найбільш ефективні зони затінення. Таким чином, вибір способів використання рельєфу повинен здійснюватися з урахуванням очікуваних режимів застосування безпілотних авіаційних комплексів противника.

Окремого значення набуває поєднання рельєфу з іншими природними маскувальними факторами. Найвищий рівень прихованості досягається у випадках, коли природні форми земної поверхні доповнюються рослинним покривом, який додатково обмежує можливість візуального та тепловізійного спостереження. Результати експериментів підтвердили, що поєднання захисних властивостей рельєфу та рослинності забезпечує суттєво більший ефект порівняно з використанням кожного фактора окремо. Це пояснюється одночасним впливом геометричного екранування, зниженням контрастності об'єкта та частковим маскуванням його теплового випромінювання.

Практика застосування засобів повітряної розвідки в сучасних збройних конфліктах свідчить, що особливу небезпеку становить перебування особового складу на вершинах висот, вододілах, відкритих гребенях та інших домінуючих елементах рельєфу. Такі ділянки забезпечують максимальну помітність об'єктів незалежно від напрямку спостереження та створюють сприятливі умови для автоматизованого виявлення. Навіть короткочасне перебування на подібних елементах місцевості значно підвищує ризик демаскування, особливо за умови використання сучасних оптико-електронних систем високої роздільної здатності.

Важливим результатом проведеного дослідження стало встановлення необхідності врахування часової складової використання рельєфу. Захисні властивості однієї й тієї самої ділянки місцевості можуть істотно змінюватися залежно від положення сонця, напрямку тіней, температурного режиму поверхні та умов формування теплового контрасту. У ранкові та вечірні години окремі форми рельєфу створюють додаткові зони затінення, які можуть використовуватися для підвищення прихованості. У денний час зростає значення теплових процесів, що впливають на ефективність тепловізійного спостереження.

Результати моделювання та експериментальних досліджень підтвердили, що використання рельєфу повинно розглядатися не як окремий захід маскування, а як елемент єдиної системи забезпечення прихованості особового складу. Ефективність такого підходу визначається своєчасністю аналізу місцевості, правильністю вибору маршрутів пересування, врахуванням можливостей засобів повітряної розвідки та здатністю особового складу адаптувати свою діяльність до конкретних умов обстановки. Саме комплексне використання захисних властивостей рельєфу створює передумови для суттєвого зниження ймовірності виявлення та підвищення живучості розвідувальних підрозділів під час виконання завдань у сучасних умовах ведення бойових дій.

5.2. Рекомендації щодо використання рослинності

Рослинний покрив є одним із найбільш доступних та ефективних природних засобів зниження ймовірності виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. На відміну від штучних маскувальних засобів, використання рослинності не потребує додаткових матеріальних ресурсів, не створює нових демаскувальних ознак і дозволяє інтегрувати діяльність особового складу в існуючу структуру природного середовища. Результати проведених досліджень підтвердили, що правильне використання рослинного покриву здатне істотно знижувати ефективність як оптичних, так і тепловізійних засобів спостереження, що застосовуються сучасними безпілотними авіаційними комплексами.

Механізм маскувального впливу рослинності має комплексний характер і обумовлений одночасною дією декількох факторів. Насамперед рослинний покрив виконує функцію просторового екранування, перешкоджаючи прямій видимості між засобом спостереження та об'єктом. Одночасно рослинність створює складний неоднорідний фон, на якому суттєво зменшується контрастність характерних ознак людини. Важливим є також вплив рослинності на теплову структуру місцевості, оскільки крони дерев, чагарникові масиви та трав'яний покрив формують складне температурне поле, що ускладнює виділення теплової сигнатури особового складу на фоні навколишнього середовища.

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільшу ефективність забезпечують багатоярусні рослинні угруповання, які поєднують деревний, чагарниковий та трав'яний покрив. У таких умовах значно зменшується ймовірність формування безперервного оглядового каналу для оптичних сенсорів БпЛА. Наявність декількох рівнів рослинності створює складну структуру затінення та численні перешкоди для розпізнавання характерних контурів людини. Крім того, багатоярусна рослинність формує більш рівномірний температурний фон, що позитивно впливає на прихованість особового складу у тепловізійному діапазоні.

Особливу увагу під час планування дій розвідувальних підрозділів необхідно приділяти використанню лісових масивів. Проведені дослідження

підтвердили, що навіть відносно розріджені деревостани здатні суттєво обмежувати можливості виявлення з повітря за рахунок перекриття вертикальних напрямків спостереження. При цьому найбільш сприятливими є ділянки зі змішаними породами дерев, оскільки різноманітність форми крон, висоти насаджень та густоти листяного покриву створює складні умови для автоматизованого розпізнавання об'єктів. Однорідні лісові насадження, навпаки, можуть формувати впорядковану структуру фону, на якій окремі порушення природного малюнка місцевості виявляються значно легше.

Важливим фактором є сезонна мінливість рослинності. У весняно-літній період маскувальні властивості рослинного покриву досягають максимальних значень завдяки високій щільності листяного покриву та значній біомасі рослин. У цей час ефективність природного маскування істотно зростає як у видимому, так і в інфрачервоному спектральному діапазоні. В осінній період поступове зменшення густоти листяного покриву призводить до збільшення прозорості насаджень і відповідного підвищення ймовірності виявлення. Найменший рівень захисних властивостей характерний для зимового періоду в листяних лісах, коли природне екранування забезпечується переважно стовбурами та гілками дерев. У цих умовах особливого значення набуває використання хвойних насаджень, які зберігають відносно стабільні маскувальні характеристики протягом року.

Значний практичний інтерес становить використання чагарникової рослинності. Результати натурних досліджень засвідчили, що щільні чагарникові масиви можуть забезпечувати рівень прихованості, співставний із окремими типами лісових насаджень. Основна перевага чагарників полягає у можливості ефективного приховування особового складу на малих висотах над поверхнею землі, де формується найбільша кількість візуальних і теплових ознак людини. Разом із тим використання чагарникових заростей потребує ретельного контролю переміщень, оскільки механічне пошкодження рослинності може створювати довготривалі демаскувальні сліди, добре помітні під час повторного повітряного спостереження.

Під час організації прихованого пересування особового складу доцільно максимально використовувати природні лінійні елементи рослинного покриву. До таких елементів належать лісосмуги, узлісся, берегова рослинність, смуги чагарників уздовж ярів і балок, а також інші видовжені рослинні утворення. Використання подібних природних коридорів дозволяє поєднати переваги маскувальних властивостей рослинності з можливістю збереження необхідного темпу пересування. Водночас слід уникати руху безпосередньо по центру таких утворень у випадках, коли їх конфігурація легко простежується з повітря, оскільки це може спростити прогнозування можливих маршрутів переміщення.

Важливим напрямом підвищення ефективності природного маскування є використання тіньових зон, сформованих деревною та чагарниковою рослинністю. Наявність глибоких тіней зменшує контрастність об'єктів у видимому спектральному діапазоні та частково знижує теплову помітність особового складу. Особливо сприятливими є умови, за яких розташування особового складу співпадає з напрямком природного затінення, що

унеможливлює формування характерних тіней, здатних привернути увагу оператора БпЛА або алгоритмів автоматичного виявлення.

Окремої уваги потребує питання використання рослинності в умовах застосування тепловізійних засобів спостереження. Проведені дослідження показали, що сам факт перебування під кронами дерев не забезпечує повного приховування теплового випромінювання людини. Найбільший ефект досягається за рахунок поєднання екранувальних властивостей рослинності з правильним вибором місця розташування, мінімізацією фізичної активності та використанням природних ділянок із підвищеною температурною неоднорідністю. Особливо сприятливими є ділянки з густим підліском, значною кількістю рослинних залишків і складною структурою ґрунтового покриву, які формують неоднорідне температурне поле.

Результати математичного моделювання підтвердили, що коефіцієнт впливу рослинності належить до найбільш значущих складових природної компоненти інтегрального показника результативності природного маскування. При цьому ефективність використання рослинного покриву визначається не лише його фізичними характеристиками, але й правильністю організації дій особового складу. Навіть високі маскувальні властивості місцевості можуть бути нівельовані недотриманням режиму прихованого пересування, утворенням демаскувальних слідів або порушенням дисципліни маскування.

Таким чином, результати дослідження свідчать, що рослинність є одним із найважливіших природних факторів зниження ймовірності виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки. Найбільша результативність досягається за умови комплексного використання багатоярусних рослинних угруповань, раціонального вибору маршрутів пересування, урахування сезонних особливостей розвитку рослинності та адаптації поведінки особового складу до структури природного середовища. Саме поєднання природних маскувальних властивостей рослинного покриву з грамотно організованими діями розвідувальних підрозділів забезпечує максимальне зниження ризику їх виявлення в умовах сучасного поля бою.

5.3. Рекомендації щодо зниження теплової помітності

В умовах широкого застосування сучасних безпілотних авіаційних комплексів, оснащених тепловізійними системами спостереження, проблема зниження теплової помітності особового складу набуває особливого значення. Якщо візуальне маскування спрямоване переважно на ускладнення сприйняття об'єкта у видимому спектральному діапазоні, то теплове маскування має забезпечувати зменшення контрасту між температурою об'єкта та температурним фоном навколишнього середовища. Практика сучасних бойових дій свідчить, що саме тепловізійні засоби дедалі частіше стають основним інструментом виявлення особового складу, особливо у нічний час, за обмеженої видимості, у складних метеорологічних умовах або під час застосування традиційних засобів візуального маскування. У зв’язку з цим

ефективність використання природного середовища повинна оцінюватися не лише з точки зору візуальної прихованості, а й з урахуванням здатності місцевості впливати на формування теплового образу людини.

Теплова помітність особового складу визначається сукупністю фізичних процесів теплообміну між організмом людини та навколишнім середовищем. Людське тіло постійно генерує теплову енергію внаслідок метаболічних процесів, яка відводиться через випромінювання, конвекцію, теплопровідність і випаровування вологи. Внаслідок цього температура зовнішніх поверхонь спорядження, елементів екіпірування та прилеглих ділянок місцевості змінюється під впливом перебування людини, утворюючи характерні теплові аномалії, які можуть бути зафіксовані тепловізійними системами навіть після залишення позиції. Саме тому зниження теплової помітності повинно розглядатися як комплексне завдання, що охоплює не лише безпосереднє приховування особового складу, а й мінімізацію вторинних теплових слідів його діяльності.

Результати натурних досліджень показали, що найбільш сприятливі умови для зменшення теплової контрастності створюються у районах зі складною структурою рослинного покриву. Деревна рослинність формує багатошаровий температурний фон, у межах якого одночасно присутні ділянки різного ступеня нагрівання та охолодження. За таких умов тепловий образ людини частково розчиняється серед природних неоднорідностей температурного поля, що істотно ускладнює його автоматизоване або візуальне розпізнавання. Особливо ефективними виявляються ділянки стиглих лісових масивів із щільною кроною, де сонячне випромінювання лише частково досягає поверхні ґрунту, а температурні контрасти між окремими елементами середовища залишаються порівняно невеликими протягом тривалого часу.

Важливу роль у зниженні теплової помітності відіграє правильний вибір місця розташування особового складу відносно локальних особливостей мікрорельєфу. У процесі дослідження встановлено, що найменша ймовірність теплового виявлення досягається під час розміщення на затінених схилах, у природних заглибленнях, балках, ярах та інших формах рельєфу, які характеризуються відносною стабільністю температурного режиму. Такі ділянки зазвичай повільніше нагріваються вдень і довше зберігають накопичене тепло в нічний час, що сприяє зменшенню температурного контрасту між людиною та навколишнім фоном. Додатковою перевагою є обмеження прямих кутів огляду з повітряних носіїв тепловізійних систем, що зменшує ймовірність формування чіткої теплової сигнатури.

Особливу увагу необхідно приділяти використанню природних об’єктів із підвищеною теплоємністю. Водойми, заболочені ділянки, вологі ґрунти та густі рослинні угруповання мають здатність накопичувати та повільно віддавати теплову енергію, формуючи температурний режим, відмінний від навколишніх відкритих просторів. У безпосередній близькості до таких об’єктів тепловий контраст людини, як правило, зменшується, що позитивно впливає на рівень прихованості. Разом із тим використання подібних районів потребує врахування особливостей місцевості, оскільки підвищена вологість може

створювати додаткові експлуатаційні труднощі для особового складу та технічних засобів.

Суттєве значення має врахування добової динаміки температурного режиму місцевості. Проведені дослідження показали, що рівень теплової помітності істотно змінюється залежно від часу доби. Найбільш сприятливі умови для прихованого переміщення формуються у періоди ранкового та вечірнього переходу температурного режиму, коли інтенсивність нагрівання або охолодження різних елементів місцевості є неоднаковою. У цей час виникає значна кількість природних температурних контрастів, що ускладнюють виділення окремих теплових об’єктів. Натомість у періоди максимальної стабільності температурного поля, характерні для окремих годин нічного часу, людина може сприйматися тепловізійними системами значно чіткіше через відсутність виражених фонових неоднорідностей.

Важливим напрямом зниження теплової помітності є мінімізація теплових наслідків діяльності особового складу. Практика проведення натурних експериментів підтвердила, що навіть за успішного приховування самої людини демаскувальними ознаками можуть виступати нагріті елементи спорядження, місця тривалого перебування, ділянки витоптаної рослинності, сліди роботи технічних засобів та інші залишкові прояви життєдіяльності. Тому під час організації прихованого розташування необхідно обмежувати час перебування на одній позиції, уникати створення локальних зон нагрівання та раціонально використовувати природні елементи середовища для розсіювання теплової енергії.

Окремого значення набуває питання зниження теплової помітності під час переміщення. Рух людини супроводжується зростанням інтенсивності теплоутворення та зміною теплового стану навколишнього середовища. У зв’язку з цим маршрути пересування доцільно прокладати через ділянки зі складною структурою температурного фону, використовуючи затінені коридори рослинності, пониження рельєфу та природні укриття. Вибір подібних маршрутів дозволяє зменшити тривалість перебування на відкритих просторах і знизити ймовірність формування стійкої теплової траєкторії, яка може бути відстежена сучасними системами автоматичного супроводження цілей.

Проведене дослідження також засвідчило необхідність комплексного поєднання заходів візуального та теплового маскування. Практика показує, що успішне приховування у видимому спектрі не гарантує аналогічного результату під час використання тепловізійних засобів спостереження. Водночас використання природних властивостей місцевості дозволяє одночасно впливати на обидва механізми виявлення, створюючи багаторівневий ефект прихованості. Найвищі показники результативності були отримані в умовах поєднання захисних властивостей рельєфу, рослинності та сприятливих температурних характеристик навколишнього середовища.

Таким чином, зниження теплової помітності особового складу повинно розглядатися як один із ключових напрямів підвищення ефективності природного маскування в умовах сучасного застосування засобів повітряної

розвідки. Використання природних температурних неоднорідностей, раціональний вибір районів розташування, врахування добової динаміки теплового режиму місцевості та мінімізація теплових слідів діяльності дозволяють істотно зменшити ймовірність виявлення особового складу тепловізійними системами спостереження. Отримані результати підтверджують, що грамотне використання природного середовища може забезпечити суттєве зниження ефективності теплового спостереження противника без застосування додаткових технічних засобів маскування.

5.4. Рекомендації щодо організації пересування

Однією з найважливіших складових забезпечення прихованості особового складу в умовах сучасного поля бою є раціональна організація пересування. Аналіз результатів проведених досліджень показав, що навіть за наявності сприятливих природних умов ефективність природного маскування значною мірою залежить від характеру переміщення особового складу, правильності вибору маршруту, режиму руху та здатності максимально використовувати маскувальні властивості навколишнього середовища. Практика застосування сучасних засобів повітряної розвідки свідчить, що саме процес пересування найчастіше стає джерелом виникнення демаскувальних ознак, оскільки рухомі об'єкти значно легше виявляються як оператором безпілотного авіаційного комплексу, так і автоматизованими алгоритмами обробки відеозображень та тепловізійної інформації. У зв'язку з цим організація прихованого переміщення повинна розглядатися як самостійний елемент системи природного маскування [13].

Проведені натурні дослідження підтвердили, що основою ефективного пересування є максимальне використання природних особливостей місцевості для зниження прямої видимості з повітря. Найбільш сприятливими для прихованого руху є райони зі складним рельєфом, розвиненою мережею природних укриттів та неоднорідним рослинним покривом. У таких умовах місцевість сама виконує функцію природного екрану, що обмежує можливості спостереження з повітряних платформ. Навпаки, відкриті рівнинні ділянки створюють найбільш несприятливі умови, оскільки людина на такому фоні формує чіткий візуальний та тепловий образ, який легко ідентифікується на значних відстанях.

Важливим принципом організації пересування є вибір маршрутів, що проходять через ділянки з мінімальною ймовірністю спостереження. У процесі дослідження встановлено, що ефективність природного маскування значно зростає за умови використання ярів, балок, лощин, русел пересохлих водотоків, лісових масивів та інших природних елементів місцевості, здатних обмежувати кути огляду з повітря. Особливого значення набуває використання зворотних схилів висот, які створюють природну радіолокаційну та оптичну тінь відносно повітряних засобів спостереження. Такі ділянки дозволяють суттєво зменшити ризик виявлення навіть у випадках тривалого перебування особового складу на маршруті.

Результати експериментів показали, що важливим фактором є не лише просторове розташування маршруту, а й його конфігурація. Переміщення за прямолінійними напрямками сприяє формуванню передбачуваних траєкторій, які легко аналізуються засобами автоматичного супроводження цілей. Значно кращі результати забезпечує використання маршрутів, що природно інтегруються у структуру місцевості та повторюють її характерні форми. У таких умовах рух особового складу меншою мірою виділяється серед природних елементів ландшафту, а прогнозування його подальших дій ускладнюється.

Окрему увагу необхідно приділяти режиму пересування. Проведені дослідження підтвердили, що безперервний рух на значних відкритих ділянках різко підвищує ймовірність виявлення. Натомість найбільш ефективним є поєднання коротких періодів переміщення з використанням природних укриттів для тимчасового прихованого перебування. Такий підхід дозволяє мінімізувати час перебування у зонах потенційного спостереження та знижує ймовірність накопичення достатньої кількості інформації для впевненого розпізнавання об'єкта засобами повітряної розвідки.

Встановлено, що ефективність природного маскування значною мірою залежить від узгодження пересування з особливостями освітлення місцевості. Сонячне випромінювання впливає не лише на візуальне сприйняття об'єктів, але й на формування теплового фону. У зв'язку з цим під час планування маршрутів доцільно враховувати положення сонця, напрямок утворення тіней та характер освітлення окремих ділянок місцевості. Найбільш сприятливими є умови, за яких рух здійснюється у межах природних зон затінення, створених рельєфом або рослинністю. Це дозволяє зменшити контрастність об'єкта та ускладнити його виявлення як у видимому, так і в інфрачервоному спектральному діапазоні.

Дослідження показали, що суттєвий вплив на прихованість має швидкість пересування. Надмірно швидкий рух супроводжується підвищенням фізичного навантаження, що призводить до зростання тепловиділення організму та формування більш контрастної теплової сигнатури. Водночас надмірно повільне переміщення збільшує тривалість перебування у зоні можливого спостереження. Оптимальний режим повинен забезпечувати баланс між необхідною швидкістю виконання завдання та підтриманням мінімального рівня демаскувальних ознак.

Особливого значення набуває організація групового пересування. Результати польових спостережень свідчать, що зі збільшенням кількості осіб зростає ймовірність формування помітних ознак діяльності. Великі групи створюють більш виражені зміни рослинного покриву, залишають помітніші сліди на ґрунті та формують потужніші теплові аномалії. У зв'язку з цим під час виконання розвідувальних завдань доцільно використовувати способи пересування, які забезпечують максимальне розосередження особового складу з одночасним збереженням керованості підрозділу. Такий підхід дозволяє зменшити концентрацію демаскувальних ознак на окремих ділянках маршруту та ускладнити ідентифікацію чисельності групи.

Аналіз результатів дослідження підтвердив важливість урахування сезонних особливостей місцевості під час організації пересування. В різні пори року змінюється густота рослинного покриву, структура ґрунтів, характер освітлення та температурний режим навколишнього середовища. Відповідно, маршрути, які забезпечують високий рівень прихованості влітку, можуть виявитися значно менш ефективними в осінньо-зимовий період. Тому планування пересування повинно здійснюватися з урахуванням актуального стану природного середовища, а не лише його картографічного відображення.

Важливим результатом дослідження стало встановлення залежності між ефективністю пересування та рівнем дисципліни маскування особового складу. Навіть найкраще обраний маршрут не забезпечує необхідного рівня прихованості за умови порушення вимог маскування, необґрунтованого виходу на відкриті ділянки, створення шумових ефектів або залишення помітних слідів діяльності. Саме тому організація пересування повинна розглядатися не лише як питання вибору маршруту, але й як комплекс заходів, спрямованих на формування єдиної системи прихованої поведінки особового складу в процесі виконання завдань.

Результати математичного моделювання та натурних досліджень показали, що раціональна організація пересування належить до найбільш впливових поведінкових факторів, які визначають загальний рівень результативності природного маскування. У багатьох випадках саме правильний вибір маршруту та способу руху забезпечував більший вплив на зниження ймовірності виявлення, ніж окремі характеристики місцевості. Це свідчить про те, що природне середовище саме по собі не гарантує прихованості, а його ефективне використання можливе лише за умови грамотної організації дій особового складу.

Таким чином, організація пересування повинна базуватися на комплексному врахуванні особливостей рельєфу, структури рослинного покриву, умов освітлення, температурного режиму місцевості та специфіки роботи сучасних засобів повітряної розвідки. Максимальне використання природних укриттів, адаптація маршрутів до структури ландшафту, оптимізація режиму руху та підтримання високої дисципліни маскування дозволяють істотно знизити ризик виявлення особового складу та забезпечити ефективне виконання розвідувальних завдань в умовах сучасного збройного протистояння.

5.5. Рекомендації щодо вибору позицій

Ефективність природного маскування особового складу значною мірою визначається правильністю вибору позицій для виконання бойових і спеціальних завдань. Результати проведених досліджень підтвердили, що навіть за наявності високого рівня підготовки особового складу та суворого дотримання вимог маскування помилки під час вибору місця розташування можуть суттєво знизити загальний рівень прихованості. У сучасних умовах застосування засобів повітряної розвідки позиція повинна розглядатися не

лише як місце тимчасового перебування особового складу, а як елемент складної взаємодії між природним середовищем, характеристиками технічних засобів спостереження противника та особливостями виконуваного завдання. Саме тому вибір позиції потребує комплексного врахування широкого кола факторів, які безпосередньо впливають на ймовірність виявлення.

Проведений аналіз результатів натурних досліджень показав, що найбільш поширеною причиною виявлення особового складу є розміщення на ділянках місцевості, які візуально здаються прихованими, але фактично добре спостерігаються із повітря. Така ситуація виникає через відмінності між наземним та повітряним сприйняттям місцевості. Об'єкт, який практично непомітний для спостерігача на поверхні землі, може чітко виділятися під час спостереження зверху внаслідок контрасту з навколишнім фоном, характерної геометричної форми або наявності супутніх демаскувальних ознак. У зв'язку з цим оцінювання придатності позиції повинно здійснюватися насамперед з урахуванням можливостей сучасних безпілотних авіаційних комплексів та їхніх оптико-електронних засобів спостереження.

Одним із найважливіших критеріїв вибору позиції є наявність природних елементів місцевості, здатних обмежувати пряме спостереження з повітря. Найбільш сприятливими виявляються райони зі складним мікрорельєфом, де природні форми поверхні створюють численні зони екранування та обмежують можливість одночасного огляду значних площ. Особливо високі показники прихованості були зафіксовані на позиціях, розташованих у природних заглибленнях місцевості, на зворотних схилах висот, у балках, ярах та інших формах рельєфу, які формують природний захист від спостереження з різних напрямків. Подібні ділянки не лише ускладнюють безпосереднє виявлення особового складу, а й знижують ефективність автоматизованих систем пошуку цілей.

Суттєве значення має характер рослинного покриву в районі обраної позиції. Проведені дослідження підтвердили, що найкращі результати досягаються за умови використання природних ділянок із неоднорідною структурою рослинності. Такі райони формують складний візуальний фон, на якому значно важче виділити окремий об'єкт. Водночас надмірно щільна рослинність не завжди забезпечує максимальний рівень прихованості. У деяких випадках вона обмежує можливості спостереження та виконання завдання самим особовим складом, а також може створювати характерні порушення структури рослинного покриву внаслідок перебування людей. Тому ефективна позиція повинна забезпечувати баланс між прихованістю та можливістю виконання функціональних завдань.

Особливу увагу необхідно приділяти відповідності позиції навколишньому природному середовищу. Результати експериментів показали, що навіть добре прихований об'єкт може бути виявлений через невідповідність характеру його розташування особливостям місцевості. Людина схильна інтуїтивно обирати зручні місця для спостереження або відпочинку, однак саме такі ділянки часто привертають увагу операторів повітряної розвідки. Найбільш ефективними виявляються позиції, розташування яких не суперечить

природній логіці ландшафту та не створює ознак штучного втручання у навколишнє середовище.

Важливим фактором є врахування особливостей функціонування тепловізійних засобів спостереження. У ході дослідження встановлено, що окремі типи позицій забезпечують різний рівень теплової прихованості навіть за однакових умов візуального маскування. Найменша тепловізійна помітність характерна для районів із підвищеною вологістю, густою деревною рослинністю та складною температурною структурою поверхні. Такі умови сприяють формуванню неоднорідного теплового фону, на якому тепловий образ людини менш чітко виділяється серед природних температурних аномалій. Навпаки, відкриті сухі ділянки часто створюють умови для формування контрастного теплового силуету, який може бути виявлений на значних відстанях.

Дослідження показали, що вибір позиції повинен враховувати не лише поточний стан місцевості, а й можливі зміни умов спостереження протягом часу. Позиція, яка забезпечує високий рівень прихованості вранці, може втратити свої маскувальні властивості після зміни освітлення або температурного режиму. У зв'язку з цим оцінювання придатності місця розташування повинно здійснюватися з урахуванням прогнозованої динаміки природних факторів. Особливо важливим є врахування напрямку руху сонця, зміни довжини тіней, характеру прогрівання поверхні та очікуваних погодних умов.

Результати натурних експериментів підтвердили важливість забезпечення багатоваріантності використання позицій. Тривале перебування на одному місці підвищує ймовірність накопичення демаскувальних ознак та поступового виявлення особового складу. Тому під час організації діяльності доцільно передбачати можливість зміни позицій залежно від розвитку обстановки. Найкращі результати були отримані у випадках, коли район виконання завдання дозволяв використовувати декілька взаємопов'язаних позицій із різними характеристиками прихованості та умовами спостереження.

Окремого значення набуває оцінювання позиції з точки зору її здатності забезпечувати безпечний відхід або зміну місця розташування. Аналіз сучасного досвіду застосування повітряної розвідки свідчить, що виявлення об'єкта далеко не завжди призводить до його негайного ураження. У багатьох випадках між моментом виявлення та застосуванням засобів ураження проходить певний час. Саме тому ефективна позиція повинна забезпечувати можливість швидкого прихованого маневру та виходу із зони спостереження. Позиції, що не мають підготовлених шляхів відходу або розташовані у замкнених ділянках місцевості, істотно підвищують ризики для особового складу навіть за високого рівня початкової прихованості.

Суттєвий вплив на ефективність вибору позиції має характер виконуваного завдання. Позиції для спостереження, коригування вогню, прихованого очікування, тимчасового відпочинку або організації засідки мають різні вимоги щодо рівня огляду місцевості, можливостей прихованого зв'язку та тривалості перебування особового складу. У зв'язку з цим універсальних

позицій, придатних для виконання всіх завдань, фактично не існує. Найкращі результати досягаються за умови адаптації вимог до позиції відповідно до конкретної мети її використання та прогнозованого характеру дій противника.

У процесі математичного моделювання було встановлено, що правильний вибір позиції належить до найбільш вагомих факторів поведінкової складової інтегрального показника результативності природного маскування. В окремих випадках вплив цього фактора перевищував сукупний ефект від окремих характеристик рослинності або рельєфу. Це свідчить про те, що навіть сприятливі природні умови не можуть повністю компенсувати помилки, допущені під час оцінювання місцевості та вибору місця розташування особового складу.

Таким чином, вибір позицій повинен здійснюватися на основі комплексного аналізу рельєфу, рослинного покриву, теплових характеристик місцевості, можливостей сучасних засобів повітряної розвідки та специфіки виконуваного завдання. Раціональне використання природних захисних властивостей навколишнього середовища дозволяє суттєво знизити ймовірність виявлення особового складу, підвищити стійкість до повітряного спостереження та забезпечити більш ефективне виконання завдань розвідувальними підрозділами в умовах сучасних бойових дій.

5.6. Рекомендації щодо дій в умовах застосування БпЛА противника

Широке впровадження безпілотних авіаційних комплексів у практику ведення сучасних бойових дій докорінно змінило умови функціонування підрозділів на полі бою та суттєво вплинуло на вимоги до організації прихованої діяльності особового складу. Якщо раніше основна увага приділялася захисту від наземного спостереження та окремих авіаційних засобів розвідки, то в сучасних умовах особовий склад практично постійно перебуває під загрозою виявлення з повітря. Розвідувальні безпілотні літальні апарати забезпечують безперервний моніторинг місцевості, оперативну передачу інформації в реальному масштабі часу та можливість інтеграції отриманих даних із системами управління вогневим ураженням. У результаті суттєво скорочується часовий інтервал між моментом виявлення об'єкта та застосуванням засобів ураження. За таких умов природне маскування перестає бути лише допоміжним заходом і перетворюється на один із ключових елементів забезпечення живучості особового складу.

Проведені дослідження показали, що ефективність протидії повітряному спостереженню значною мірою залежить від правильного розуміння особливостей функціонування сучасних безпілотних систем. Незалежно від типу літального апарата процес виявлення цілі базується на фіксації певних демаскувальних ознак, які дозволяють виділити об'єкт на фоні навколишнього середовища. Такими ознаками можуть бути характерні геометричні форми, контрастні кольорові переходи, теплові аномалії, рух, зміни структури рослинності або інші прояви діяльності людини. Відповідно, основою ефективних дій в умовах застосування БпЛА противника є не лише прагнення

приховати особовий склад від безпосереднього спостереження, а й системне зниження інтенсивності всіх демаскувальних факторів.

Аналіз результатів натурних експериментів підтвердив, що найбільшу небезпеку становлять не окремі прольоти безпілотних літальних апаратів, а тривале систематичне спостереження за визначеним районом. У таких умовах оператор отримує можливість порівнювати послідовні зображення місцевості та виявляти навіть незначні зміни, пов'язані з діяльністю особового складу. Саме тому під час виконання завдань необхідно орієнтуватися не лише на приховування людини як об'єкта спостереження, а й на мінімізацію будь-яких змін навколишнього середовища, які можуть свідчити про її присутність. Практика бойового застосування безпілотних систем підтверджує, що у багатьох випадках противник виявляє не самого військовослужбовця, а результати його діяльності.

Особливе значення в умовах постійного повітряного спостереження набуває правильна організація режиму функціонування підрозділу. Результати дослідження показали, що концентрація активності в обмежені часові проміжки значно підвищує ризик виявлення. Значно ефективнішим є рівномірний розподіл діяльності в часі з урахуванням особливостей роботи засобів повітряної розвідки. Такий підхід дозволяє уникнути формування виражених демаскувальних ознак та знижує ймовірність ідентифікації характеру виконуваних завдань.

Важливим елементом забезпечення прихованості є постійне врахування просторового положення безпілотного літального апарата відносно особового складу. Натурні спостереження підтвердили, що ефективність маскування суттєво залежить від геометрії спостереження. Один і той самий об'єкт може бути практично непомітним при спостереженні з певного напрямку та добре виявлятися при зміні положення платформи спостереження. У зв'язку з цим використання природних форм рельєфу та рослинного покриву повинно здійснюватися з урахуванням можливих маршрутів польоту безпілотних комплексів та характерних секторів їхнього спостереження.

Суттєве значення має здатність особового складу своєчасно адаптувати свою поведінку до зміни повітряної обстановки. Дослідження показали, що навіть короткочасна поява БпЛА в районі виконання завдання повинна розглядатися як фактор, що потребує негайного коригування режиму діяльності. При цьому найбільш ефективною є поведінка, спрямована на максимальне зниження помітності, а не на спроби швидко залишити район спостереження. Різкі переміщення, хаотичні дії або необґрунтована зміна положення часто створюють додаткові демаскувальні ознаки та підвищують ймовірність виявлення.

Особливого значення набуває врахування можливостей сучасних тепловізійних систем, які дедалі частіше входять до складу корисного навантаження безпілотних платформ. Проведені дослідження підтвердили, що навіть ефективне візуальне маскування не гарантує прихованості у тепловому спектральному діапазоні. У зв'язку з цим під час організації діяльності необхідно максимально використовувати природні фактори, які сприяють

зниженню теплового контрасту між людиною та навколишнім середовищем. Найбільш сприятливими виявляються райони з неоднорідним температурним фоном, наявністю густої рослинності, підвищеною вологістю та значною кількістю природних теплових аномалій. У таких умовах тепловий образ людини меншою мірою виділяється серед навколишніх об'єктів, що ускладнює його автоматичне та візуальне розпізнавання.

Встановлено, що одним із найбільш ефективних способів зниження ризику виявлення є максимальне використання часових інтервалів, коли ефективність роботи оптико-електронних систем природним чином зменшується. Такі періоди пов'язані зі змінами освітлення, погіршенням метеорологічних умов або формуванням складного фону для спостереження. Разом із тим результати дослідження показали, що сучасні багатоспектральні системи значною мірою компенсують вплив окремих природних факторів. Саме тому використання сприятливих умов повинно розглядатися не як самостійний засіб приховування, а як елемент комплексної системи природного маскування.

Аналіз експериментальних даних підтвердив важливість постійної оцінки ймовірності виявлення в процесі виконання завдань. Ефективне природне маскування не є статичним станом, а потребує безперервного врахування змін навколишнього середовища, особливостей роботи засобів розвідки та характеру власної діяльності. У зв'язку з цим особовий склад повинен постійно оцінювати ступінь своєї помітності та за необхідності коригувати способи використання місцевості відповідно до поточної обстановки.

Важливим результатом проведених досліджень стало встановлення того факту, що максимальний рівень прихованості досягається не за рахунок окремих маскувальних заходів, а шляхом інтегрованого використання всіх доступних природних можливостей місцевості. Висока ефективність забезпечується лише за умови одночасного врахування рельєфу, рослинного покриву, освітлення, теплових характеристик середовища, маршруту пересування, вибору позицій та особливостей поведінки особового складу. Саме комплексний характер природного маскування дозволяє компенсувати обмеження окремих факторів та забезпечити стійкість до різних способів повітряного спостереження.

Результати математичного моделювання підтвердили, що поведінкові фактори в умовах застосування БпЛА противника мають не менший вплив на результативність маскування, ніж характеристики самої місцевості. У багатьох випадках однакові природні умови забезпечували суттєво різні показники прихованості залежно від способу дій особового складу. Це свідчить про те, що природне середовище створює лише потенційні можливості для приховування, тоді як їхня практична реалізація визначається правильністю організації діяльності та рівнем підготовки особового складу.

Таким чином, дії в умовах застосування безпілотних авіаційних комплексів противника повинні базуватися на постійному врахуванні можливостей сучасних засобів повітряної розвідки, своєчасному виявленні демаскувальних ознак власної діяльності та комплексному використанні

природних властивостей місцевості. Раціональне поєднання природного маскування, адаптивної поведінки та безперервного оцінювання повітряної обстановки дозволяє суттєво знизити ймовірність виявлення особового складу, підвищити його живучість та забезпечити успішне виконання завдань у сучасних умовах ведення бойових дій.

5.7. Методика прогнозування результативності природного маскування під час планування бойових дій

Одним із найважливіших практичних результатів виконаного дослідження є розроблення методики прогнозування результативності природного маскування особового складу ще на етапі планування бойових дій. Необхідність створення такої методики обумовлена суттєвим зростанням ролі засобів повітряної розвідки у сучасних збройних конфліктах та потребою завчасного оцінювання ризику виявлення підрозділів до початку виконання бойових завдань. Традиційні підходи до організації маскування переважно базуються на досвіді командирів та загальних рекомендаціях щодо використання місцевості. Проте стрімкий розвиток безпілотних авіаційних комплексів, багатоспектральних систем спостереження та автоматизованих засобів обробки розвідувальної інформації вимагає переходу від якісних оцінок до кількісного прогнозування рівня прихованості. Саме тому запропонована методика орієнтована на формування об'єктивного інструменту підтримки прийняття рішень, який дозволяє завчасно визначати очікувану результативність використання природного середовища для зниження ймовірності виявлення особового складу.

Основою методики є положення про те, що ефективність природного маскування формується внаслідок одночасного впливу значної кількості взаємопов'язаних факторів, кожен з яких окремо не здатний повною мірою визначити загальний результат. У реальних умовах прихованість залежить не лише від характеристик місцевості, а й від особливостей діяльності особового складу, погодних умов, часу доби, типу засобів повітряної розвідки та характеру поставленого завдання. Тому прогнозування повинно враховувати сукупний вплив усіх зазначених чинників у межах єдиної системи оцінювання.

Проведені теоретичні дослідження та результати натурних експериментів показали, що найбільш доцільним інтегральним показником прогнозування є коефіцієнт результативності природного маскування, який відображає очікуваний рівень зниження ймовірності виявлення особового складу порівняно з умовами відсутності організованого використання природного середовища. Використання такого показника дозволяє забезпечити уніфікований підхід до оцінювання різнорідних факторів та створює можливість порівняння різних варіантів дій під час планування операцій.

Методика прогнозування починається з аналізу району майбутнього виконання завдання. На цьому етапі здійснюється оцінювання природних властивостей місцевості, які можуть впливати на ефективність приховування особового складу. Особлива увага приділяється рельєфу, структурі рослинного

покриву, характеру забудови, наявності природних укриттів, особливостям водних об'єктів та іншим елементам ландшафту, здатним змінювати умови спостереження з повітря. Аналіз повинен проводитися не лише на підставі топографічних матеріалів, а й з використанням актуальних аерофотознімків, супутникових даних та іншої розвідувальної інформації, що дозволяє врахувати поточний стан місцевості.

Наступним етапом є визначення умов застосування засобів повітряної розвідки противника. Дослідження показали, що одна й та сама ділянка місцевості може забезпечувати різний рівень прихованості залежно від характеристик безпілотних авіаційних комплексів, які здійснюють спостереження. Особливого значення набувають висота польоту, тип використовуваних сенсорів, просторове розрізнення оптичних систем, наявність тепловізійного обладнання та режим функціонування розвідувального комплексу. Врахування зазначених параметрів дозволяє адаптувати результати прогнозування до конкретної оперативної обстановки та забезпечити більшу достовірність оцінок.

Суттєвою особливістю запропонованої методики є інтеграція природних і поведінкових факторів у межах єдиного прогнозного процесу. Результати експериментальних досліджень підтвердили, що характеристики місцевості самі по собі не визначають рівень прихованості. Вирішальне значення має спосіб використання природного середовища особовим складом. У зв'язку з цим під час прогнозування враховуються особливості вибору маршрутів пересування, порядок організації спостереження, характер використання позицій, тривалість перебування на місцевості та інші поведінкові параметри, здатні впливати на формування демаскувальних ознак.

Важливим елементом методики є оцінювання очікуваної динаміки обстановки протягом усього періоду виконання завдання. На відміну від статичних моделей, які характеризують умови лише в окремий момент часу, запропонований підхід враховує можливі зміни природного середовища та умов спостереження. До таких змін належать варіації освітленості, переміщення сонця, зміни температурного режиму, розвиток метеорологічної обстановки та інші процеси, які можуть суттєво впливати на ефективність природного маскування. Такий підхід дозволяє прогнозувати не лише середній рівень прихованості, а й потенційні періоди підвищеного ризику виявлення.

Результати математичного моделювання показали, що найбільш ефективним є використання прогнозування як інструменту порівняльного аналізу альтернативних варіантів виконання завдання. У практичній діяльності командир рідко обмежується єдиним маршрутом або єдиною позицією. Як правило, існує декілька можливих способів організації дій, кожен з яких характеризується власним рівнем прихованості. Методика дозволяє кількісно оцінити кожен із таких варіантів та визначити найбільш доцільний з точки зору мінімізації ризику виявлення. Саме ця можливість є одним із головних практичних результатів проведеного дослідження.

Особливе значення має прогнозування ефективності природного маскування під час планування діяльності розвідувальних підрозділів.

Специфіка їхнього функціонування передбачає тривале перебування в районах, що контролюються противником, виконання завдань в умовах постійної загрози повітряного спостереження та необхідність мінімізації будь-яких демаскувальних проявів. У таких умовах навіть незначне підвищення рівня прихованості може суттєво впливати на успішність виконання завдання та збереження особового складу. Запропонована методика дозволяє ще до початку операції оцінити потенційні ризики та завчасно скоригувати порядок дій відповідно до прогнозованих умов.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили достатню точність прогнозування результативності природного маскування на основі розробленої математичної моделі. Встановлено, що отримані прогнозні оцінки характеризуються високим рівнем відповідності результатам натурних експериментів та дозволяють із прийнятною точністю відтворювати закономірності впливу природних і поведінкових факторів на ймовірність виявлення особового складу. Це створює передумови для практичного використання методики під час планування бойових дій різного масштабу.

Важливою перевагою запропонованого підходу є його універсальність. Методика може застосовуватися не лише для оцінювання діяльності розвідувальних підрозділів, але й під час планування дій інших категорій військ, які виконують завдання в умовах загрози повітряного спостереження. Вона дозволяє враховувати особливості конкретної місцевості, характеристики засобів розвідки противника та специфіку поставлених завдань без необхідності кардинальної зміни структури розрахунків. Це забезпечує широкі можливості її інтеграції у систему підготовки та планування сучасних бойових операцій.

Таким чином, розроблена методика прогнозування результативності природного маскування забезпечує можливість кількісного оцінювання рівня прихованості особового складу ще до початку виконання бойового завдання. Використання результатів математичного моделювання, врахування природних і поведінкових факторів, адаптація до характеристик засобів повітряної розвідки та орієнтація на практичні потреби військового управління створюють підґрунтя для підвищення обґрунтованості управлінських рішень і зниження ризику виявлення особового складу в умовах сучасного бойового середовища. Це дозволяє розглядати прогнозування результативності природного маскування як важливий елемент інформаційно-аналітичного забезпечення планування бойових дій та один із перспективних напрямів подальшого розвитку систем підтримки прийняття рішень у сфері військової діяльності.

5.8. Пропозиції щодо впровадження результатів НДР у систему підготовки розвідувальних підрозділів

Отримані в ході науково-дослідної роботи результати мають не лише теоретичне значення, пов’язане з поглибленням наукових уявлень про закономірності формування прихованості особового складу в умовах сучасного повітряного спостереження, але й значний практичний потенціал для вдосконалення системи підготовки розвідувальних підрозділів. Актуальність

упровадження результатів дослідження обумовлюється якісними змінами характеру бойових дій, що відбулися внаслідок масового застосування безпілотних авіаційних комплексів. Якщо раніше основна увага під час навчання розвідників приділялася питанням прихованого пересування, орієнтування на місцевості та ведення спостереження, то сучасні умови вимагають формування значно ширшої системи компетентностей, пов'язаних із протидією багатоспектральному повітряному спостереженню та ефективним використанням природного середовища для зниження ймовірності виявлення.

Проведений аналіз існуючих програм підготовки показав, що значна частина навчальних матеріалів, які використовуються під час підготовки особового складу, сформувалася в умовах, коли безпілотні засоби розвідки ще не мали такого впливу на бойову обстановку, як сьогодні. У багатьох випадках питання маскування розглядаються переважно з позицій захисту від наземного спостереження або традиційної повітряної розвідки, тоді як сучасні засоби спостереження характеризуються значно вищою просторовою роздільною здатністю, можливістю цілодобової роботи та використанням декількох спектральних діапазонів одночасно. Це обумовлює необхідність перегляду змісту навчання та адаптації системи підготовки до реальних умов сучасного бойового середовища.

Важливим напрямом впровадження результатів дослідження є оновлення теоретичної складової підготовки розвідувальних підрозділів. Результати роботи дозволяють сформувати сучасне науково обґрунтоване уявлення про механізми виявлення особового складу засобами повітряної розвідки та про фактори, які визначають рівень його прихованості. Особливе значення має включення до навчальних програм положень щодо закономірностей формування демаскувальних ознак у візуальному та тепловому діапазонах, впливу рельєфу та рослинності на ефективність спостереження, особливостей функціонування сучасних оптико-електронних систем і ролі поведінкових факторів у забезпеченні прихованості. Засвоєння таких знань дозволяє особовому складу не лише виконувати окремі вимоги щодо маскування, а й усвідомлено оцінювати власну помітність у конкретній обстановці.

Суттєвий потенціал для практичного впровадження мають розроблені під час дослідження математичні та методичні положення. Вони створюють основу для переходу від переважно якісного оцінювання прихованості до використання кількісних критеріїв під час навчання та контролю рівня підготовленості особового складу. Використання інтегрального коефіцієнта результативності природного маскування дозволяє об'єктивізувати процес оцінювання дій військовослужбовців та забезпечити порівнянність результатів підготовки в різних навчальних підрозділах. Це особливо важливо в умовах необхідності формування єдиних підходів до оцінювання ефективності використання природного середовища під час виконання розвідувальних завдань.

Проведені натурні дослідження підтвердили доцільність суттєвого розширення практичної складової підготовки. Одним із головних напрямів удосконалення навчального процесу має стати широке використання

навчальних занять, під час яких оцінювання дій особового складу здійснюється із застосуванням безпілотних авіаційних комплексів. Такий підхід дозволяє створювати умови, максимально наближені до реальної бойової обстановки, та забезпечує формування у військовослужбовців практичних навичок оцінювання власної помітності з позиції повітряного спостерігача. Досвід проведення експериментів показав, що багато помилок у питаннях маскування стають очевидними лише після аналізу матеріалів аеророзвідки, тоді як під час безпосереднього перебування на місцевості вони залишаються непомітними для особового складу.

Особливого значення набуває впровадження результатів дослідження у підготовку командирів та органів військового управління. Сучасний командир повинен не лише знати загальні принципи маскування, а й уміти оцінювати ризик виявлення підрозділу в різних умовах, прогнозувати вплив місцевості на ефективність повітряного спостереження та приймати рішення щодо вибору найбільш доцільних способів використання природного середовища. Запропонована методика прогнозування результативності природного маскування може використовуватися як інструмент підтримки прийняття рішень під час планування розвідувальних і спеціальних заходів. Її включення до змісту підготовки командного складу сприятиме підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та більш ефективному використанню можливостей місцевості.

Важливою складовою впровадження результатів дослідження є розроблення нових навчально-методичних матеріалів. Отримані результати створюють підґрунтя для підготовки сучасних навчальних посібників, методичних рекомендацій, збірників практичних завдань та електронних навчальних курсів, присвячених питанням природного маскування в умовах застосування засобів повітряної розвідки. Такі матеріали повинні базуватися не лише на узагальненні бойового досвіду, а й на результатах експериментальних досліджень та математичного моделювання, що забезпечує їхню наукову обґрунтованість і практичну цінність.

Проведене дослідження показало доцільність формування окремого напряму підготовки, пов’язаного з аналізом місцевості з точки зору її маскувальних властивостей. Традиційно оцінювання місцевості в системі військової освіти орієнтується на питання прохідності, огляду, умов ведення вогню та організації маневру. Разом із тим сучасна бойова практика свідчить про необхідність системного врахування характеристик місцевості, які впливають на можливість прихованого функціонування підрозділів. Результати роботи дозволяють сформувати методичну основу для розвитку відповідного напряму підготовки та інтегрувати його в навчальні дисципліни, пов’язані з військовою топографією, тактикою, розвідкою та організацією бойового забезпечення.

Окрему перспективу становить використання результатів НДР під час підготовки операторів безпілотних авіаційних комплексів. Розуміння закономірностей природного маскування дозволяє більш глибоко усвідомлювати механізми виявлення об’єктів та підвищує ефективність

ведення повітряної розвідки. Таким чином, результати дослідження можуть використовуватися не лише для підвищення прихованості власних підрозділів, а й для вдосконалення підготовки фахівців, які здійснюють пошук та ідентифікацію цілей із використанням безпілотних платформ.

Практична реалізація запропонованих підходів сприятиме формуванню у військовослужбовців нового рівня професійного мислення, орієнтованого на постійне оцінювання ризику виявлення та усвідомлене використання природних властивостей місцевості. У сучасних умовах прихованість уже не може розглядатися як окремий елемент бойового забезпечення. Вона перетворюється на одну з базових умов успішного виконання завдань, що безпосередньо впливає на живучість особового складу та ефективність бойової діяльності.

Отримані результати також створюють передумови для подальшого розвитку науково-методичного забезпечення підготовки розвідувальних підрозділів. Використання математичних моделей, експериментальних даних та методик прогнозування дозволяє перейти до побудови більш складних систем підтримки навчального процесу, які можуть інтегруватися з геоінформаційними технологіями, тренажерними комплексами та сучасними засобами моделювання бойових дій. Це відкриває можливості для створення перспективних освітніх рішень, спрямованих на підготовку особового складу до діяльності в умовах постійного повітряного спостереження.

Таким чином, результати проведеної науково-дослідної роботи мають значний потенціал практичного впровадження в систему підготовки розвідувальних підрозділів. Їх використання дозволяє модернізувати зміст навчання відповідно до сучасного характеру бойових дій, підвищити якість підготовки особового складу та командирів, удосконалити методичне забезпечення освітнього процесу й забезпечити формування стійких навичок прихованої діяльності в умовах широкого застосування засобів повітряної розвідки противника. Саме така інтеграція результатів наукових досліджень у практику військової освіти створює необхідні передумови для підвищення ефективності функціонування розвідувальних підрозділів у сучасному операційному середовищі.

Висновки до розділу 5

Проведене дослідження дозволило перейти від теоретичного обґрунтування закономірностей формування прихованості особового складу до розроблення практично орієнтованих рекомендацій щодо використання природного середовища для зниження ймовірності виявлення розвідувальних підрозділів сучасними засобами повітряної розвідки. Отримані результати підтвердили, що в умовах стрімкого розвитку безпілотних авіаційних комплексів ефективність виконання бойових завдань значною мірою залежить від здатності особового складу раціонально використовувати захисні властивості місцевості та адаптувати свою діяльність до особливостей функціонування сучасних розвідувальних систем. У зв’язку з цим питання

природного маскування набувають не допоміжного, а одного з ключових значень у забезпеченні живучості підрозділів та збереженні їхньої боєздатності.

У процесі дослідження встановлено, що природне середовище являє собою складну багатокомпонентну систему факторів, які можуть як зменшувати, так і збільшувати ймовірність виявлення особового складу залежно від характеру їх використання. Результати математичного моделювання та натурних експериментів переконливо засвідчили, що ефективність приховування визначається не окремими елементами місцевості, а комплексом взаємопов'язаних природних та поведінкових чинників. Саме тому досягнення високого рівня прихованості можливе лише за умови системного підходу до організації діяльності особового складу, який передбачає одночасне врахування особливостей рельєфу, рослинного покриву, теплових характеристик навколишнього середовища, погодних умов та специфіки функціонування засобів повітряного спостереження противника.

Проведений аналіз підтвердив, що рельєф місцевості залишається одним із найважливіших природних факторів, здатних істотно впливати на можливість виявлення особового складу. Встановлено, що раціональне використання складних форм поверхні дозволяє формувати природні зони екранування, обмежувати пряме спостереження та знижувати ефективність автоматизованого розпізнавання цілей. Особливо важливого значення набуває використання ділянок місцевості, які забезпечують приховування не лише від наземного спостереження, а й від огляду з повітря. При цьому ефективність маскування визначається не абсолютними характеристиками рельєфу, а його відповідністю конкретним умовам виконання завдань та можливостям засобів розвідки противника.

Результати дослідження засвідчили, що рослинний покрив виконує значно ширші функції, ніж традиційно вважається у військовій практиці. Його вплив поширюється не лише на візуальне приховування особового складу, але й на формування складного теплового фону, який ускладнює роботу сучасних тепловізійних систем. Встановлено, що найбільшу ефективність забезпечує використання неоднорідних природних комплексів із багаторівневою структурою рослинності, які формують сприятливі умови для зниження контрастності об'єктів спостереження. Водночас підтверджено, що сама наявність рослинного покриву не гарантує високого рівня прихованості без правильного вибору позицій та відповідної організації діяльності особового складу.

Отримані результати дозволили сформувати науково обґрунтовані підходи до зниження теплової помітності особового складу. Проведені дослідження показали, що в сучасних умовах тепловий канал спостереження часто є не менш важливим, ніж традиційний візуальний контроль. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання природних умов, які сприяють зменшенню температурного контрасту між людиною та навколишнім середовищем. Встановлено, що ефективне зниження теплової помітності досягається насамперед шляхом правильного використання властивостей

місцевості, а не лише за рахунок застосування спеціальних технічних засобів маскування.

У ході дослідження підтверджено вирішальну роль поведінкових факторів у забезпеченні прихованості. Результати натурних експериментів і математичного моделювання показали, що навіть сприятливі природні умови не забезпечують необхідного рівня маскування у разі нераціональної організації діяльності особового складу. Найбільший вплив на результативність природного маскування мають способи пересування, вибір позицій, характер виконання завдань та здатність військовослужбовців адаптувати свою поведінку до змін обстановки. Таким чином, природне середовище створює лише потенційні можливості для приховування, тоді як їх реалізація визначається якістю підготовки та професійними навичками особового складу.

Особливого значення набули результати, пов’язані з розробленням рекомендацій щодо дій в умовах широкого застосування безпілотних авіаційних комплексів противника. Встановлено, що сучасні БпЛА істотно змінюють характер бойового середовища та вимагають перегляду традиційних підходів до маскування. Безперервний характер повітряного спостереження, можливість використання декількох спектральних діапазонів та висока оперативність передачі розвідувальної інформації створюють принципово нові вимоги до організації діяльності розвідувальних підрозділів. Проведене дослідження дозволило сформувати науково обґрунтовані підходи до адаптації дій особового складу в умовах постійної загрози повітряного виявлення.

Важливим практичним результатом роботи стало створення методики прогнозування результативності природного маскування під час планування бойових дій. Її розроблення забезпечило можливість переходу від інтуїтивного оцінювання прихованості до використання кількісних критеріїв, які дозволяють завчасно визначати очікуваний рівень ризику виявлення особового складу. Отримані результати підтвердили, що використання математичної моделі створює підґрунтя для обґрунтованого вибору маршрутів, позицій та способів виконання завдань ще до початку практичних дій. Це суттєво розширює можливості командирів щодо прийняття рішень та підвищує ефективність планування діяльності розвідувальних підрозділів.

Суттєву практичну цінність мають пропозиції щодо впровадження результатів дослідження у систему підготовки особового складу. Проведений аналіз показав, що сучасні умови бойових дій вимагають формування нових підходів до навчання військовослужбовців, орієнтованих на розвиток навичок оцінювання власної помітності та раціонального використання природного середовища. Запропоновані рекомендації створюють методичну основу для вдосконалення освітніх програм, підготовки навчально-методичних матеріалів та інтеграції результатів дослідження у практику бойової підготовки розвідувальних підрозділів.

Узагальнення результатів виконаної роботи свідчить про те, що природне маскування слід розглядати як комплексний інструмент підвищення живучості особового складу, ефективність якого визначається не окремими заходами, а цілісною системою організаційних, поведінкових та природоорієнтованих

рішень. Розроблені рекомендації забезпечують можливість практичного використання результатів проведених теоретичних досліджень, математичного моделювання та натурних експериментів у діяльності розвідувальних підрозділів. Їх застосування сприятиме зниженню ймовірності виявлення особового складу сучасними засобами повітряної розвідки, підвищенню ефективності виконання бойових завдань та вдосконаленню системи підготовки військовослужбовців в умовах сучасного операційного середовища.

ВИСНОВКИ

Виконане наукове дослідження було спрямоване на розв’язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення прихованості особового складу розвідувальних підрозділів шляхом наукового обґрунтування використання природного середовища для зниження можливості його виявлення сучасними засобами повітряної розвідки. Актуальність поставленого завдання визначається докорінними змінами характеру збройної боротьби, що відбулися внаслідок широкого впровадження безпілотних авіаційних комплексів, багатоспектральних систем спостереження та автоматизованих засобів обробки розвідувальної інформації. Сучасне бойове середовище характеризується практично безперервним моніторингом поля бою з повітря, що суттєво ускладнює діяльність розвідувальних підрозділів і висуває нові вимоги до забезпечення їх прихованості. За таких умов природне середовище перетворюється з допоміжного елемента маскування на один із ключових ресурсів підвищення живучості особового складу та забезпечення успішного виконання бойових завдань.

У ході виконання роботи здійснено комплексне дослідження сучасних тенденцій розвитку засобів повітряної розвідки та особливостей їх застосування в умовах сучасних воєнних конфліктів. Проведений аналіз дозволив встановити, що головною особливістю розвитку розвідувальних систем є поєднання високої просторової роздільної здатності сенсорів, можливості тривалого моніторингу місцевості та використання декількох спектральних діапазонів спостереження. Встановлено, що сучасні безпілотні авіаційні комплекси забезпечують ефективне виявлення особового складу не лише за рахунок прямого візуального спостереження, а й шляхом аналізу теплових, поведінкових та просторових демаскувальних ознак. Це зумовлює необхідність розгляду процесу приховування як складної багатофакторної системи, що формується під впливом природних умов, особливостей діяльності особового складу та характеристик засобів спостереження.

На основі аналізу наукових джерел, узагальнення бойового досвіду та результатів власних досліджень визначено основні закономірності формування демаскувальних ознак особового складу в умовах повітряного спостереження. Встановлено, що можливість виявлення людини залежить не лише від її фізичної присутності на місцевості, а й від характеру взаємодії з навколишнім середовищем. Особливу роль відіграють особливості рельєфу, структура рослинного покриву, контрастність об’єкта відносно фону, характер руху, теплова активність та інші фактори, які можуть суттєво змінювати ймовірність виявлення. Отримані результати дозволили сформувати науково обґрунтоване уявлення про механізми впливу природного середовища на ефективність роботи сучасних засобів повітряної розвідки.

У процесі виконання дослідження розроблено систему показників, що характеризують результативність природного маскування особового складу. Обґрунтовано доцільність використання інтегрального коефіцієнта результативності як узагальненого показника, який дозволяє кількісно

оцінювати ступінь зниження ймовірності виявлення залежно від сукупності природних та поведінкових факторів. Визначено структуру часткових показників, які відображають вплив різних складових природного середовища та особливостей діяльності особового складу на загальний рівень прихованості. Запропонований підхід забезпечив можливість переходу від переважно якісних оцінок до формалізованого опису процесів природного маскування.

Одним із головних результатів роботи стало створення математичної моделі результативності природного маскування особового складу. Розроблена модель базується на інтеграції природної та поведінкової складових і дозволяє кількісно оцінювати ефективність використання природного середовища в різних умовах виконання бойових завдань. Особливістю моделі є врахування комплексного впливу факторів місцевості, умов спостереження та характеру діяльності особового складу. Побудована система взаємозв'язків забезпечила можливість визначення прогнозних значень результативності природного маскування та проведення порівняльного аналізу альтернативних варіантів дій.

Проведений аналіз чутливості математичної моделі дозволив встановити ступінь впливу окремих факторів на формування інтегрального показника результативності. Отримані результати підтвердили, що найбільший вплив на рівень прихованості мають параметри, пов'язані з особливостями місцевості та організацією діяльності особового складу. Водночас дослідження показало, що максимальний ефект досягається не шляхом посилення окремих факторів, а за рахунок їх раціонального поєднання в межах єдиної системи забезпечення прихованості. Це дозволило сформувати науково обґрунтовані підходи до вибору найбільш ефективних способів використання природного середовища в конкретних умовах обстановки.

Важливим етапом дослідження стало проведення натурних експериментів, спрямованих на перевірку теоретичних положень і оцінювання практичної ефективності запропонованих підходів. Організація польових досліджень забезпечила можливість отримання об'єктивних даних щодо впливу різних природних та поведінкових факторів на ймовірність виявлення особового складу засобами повітряної розвідки. Отримані результати підтвердили наявність стійких закономірностей між характеристиками природного середовища та рівнем прихованості особового складу. Встановлено, що раціональне використання рельєфу, рослинності та природних особливостей місцевості дозволяє суттєво знижувати ефективність візуального та теплового спостереження.

За результатами статистичної обробки експериментальних даних підтверджено достовірність отриманих результатів та адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено високий рівень відповідності між прогнозними та експериментальними значеннями інтегрального коефіцієнта результативності. Значення показників кореляції, детермінації та середньої відносної похибки свідчать про здатність моделі з достатньою точністю відтворювати закономірності, які спостерігаються в реальних умовах. Проведена перевірка статистичної значущості підтвердила відсутність суттєвих розбіжностей між результатами математичного моделювання та даними

натурних досліджень, що дозволяє розглядати запропоновану модель як придатний інструмент прогнозування.

На основі результатів дослідження розроблено комплекс практичних рекомендацій щодо використання природного середовища для підвищення прихованості особового складу. Отримані результати дозволили сформувати науково обґрунтовані підходи до використання рельєфу місцевості, рослинного покриву, природних теплових умов та інших елементів навколишнього середовища під час виконання розвідувальних завдань. Значну увагу приділено питанням організації пересування, вибору позицій та адаптації діяльності особового складу до умов застосування сучасних безпілотних авіаційних комплексів. Запропоновані рекомендації орієнтовані на практичне використання в діяльності підрозділів та враховують специфіку сучасної бойової обстановки.

Суттєвим результатом роботи стало розроблення методики прогнозування результативності природного маскування під час планування бойових дій. Запропонований підхід забезпечує можливість кількісного оцінювання очікуваного рівня прихованості ще до початку виконання завдання та створює підґрунтя для обґрунтованого вибору способів використання природного середовища. Використання прогнозних оцінок дозволяє підвищити якість управлінських рішень, своєчасно виявляти потенційні ризики та обирати найбільш доцільні варіанти дій залежно від конкретних умов обстановки.

Окреме значення мають розроблені пропозиції щодо впровадження результатів дослідження в систему підготовки розвідувальних підрозділів. Встановлено, що сучасні умови ведення бойових дій потребують суттєвого оновлення підходів до навчання особового складу в частині забезпечення прихованості. Використання результатів дослідження створює передумови для вдосконалення змісту освітніх програм, розроблення сучасного навчально-методичного забезпечення та формування практичних навичок ефективного використання природного середовища в умовах постійного повітряного спостереження.

Наукова новизна проведеного дослідження полягає в розвитку теоретичних положень щодо оцінювання результативності природного маскування особового складу шляхом створення інтегрованої системи показників та математичної моделі, яка враховує одночасний вплив природних і поведінкових факторів на ймовірність виявлення сучасними засобами повітряної розвідки. Подальшого розвитку набули підходи до кількісного оцінювання прихованості та прогнозування результативності використання природного середовища в інтересах забезпечення діяльності розвідувальних підрозділів.

Практичне значення роботи визначається можливістю безпосереднього використання отриманих результатів під час планування бойових дій, організації діяльності розвідувальних підрозділів, підготовки військовослужбовців та вдосконалення системи бойового забезпечення. Розроблені методики, математичні моделі та рекомендації можуть бути адаптовані до потреб різних складових сектору безпеки і оборони та

використовуватися для підвищення ефективності функціонування підрозділів в умовах широкого застосування засобів повітряної розвідки.

Таким чином, у ході виконання науково-дослідної роботи досягнуто поставлену мету та вирішено комплекс наукових і практичних завдань, пов’язаних із обґрунтуванням використання природного середовища для зниження можливості виявлення особового складу розвідувальних підрозділів. Отримані результати формують завершену науково-методичну основу для оцінювання, прогнозування та підвищення результативності природного маскування в умовах сучасного застосування засобів повітряної розвідки та створюють підґрунтя для подальшого розвитку наукових досліджень у сфері забезпечення прихованості військ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008 – 2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
2. ДСТУ 3973 – 2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення.
3. Про Національну гвардію України : Закон України від 13.03.2014 № 876-VII // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 17. – С. 594–605.
4. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII // Відомості Верховної Ради України. – 2018. – № 31. – С. 241–255.
5. Про розвідку : Закон України від 17.09.2020 № 912-IX // Офіційний вісник України. – 2020. – № 86. – С. 2761–2775.
6. Доктрина діяльності Національної гвардії України. – К.: НГУ, 2023. – 120с.
7. Доктрина застосування сил оборони України.– К.: МО України, 2021. – 98с.
8. Бойовий статут Сухопутних військ ЗС України. – К.: МО України, 2022. – 320 с.
9. Настанова з маскування військ. – К.: МО України, 2019. – 180 с.
10. Настанова з розвідки Сухопутних військ. – К.: МО України, 2020. – 210 с.
11. Настанова з інженерного забезпечення військ. – К. : МО України, 2020. – 250 с.
12. Тищенко М. В. Оптимізація дій розвідувальних підрозділів у лісистій та болотистій місцевості. // Збірник наук. праць ЦНДІ ЗСУ., 2023. – Вип. 2. – С. 71–80.
13. Поліщук Р. П. Розробка тактичних прийомів прихованого переміщення в умовах спостереження БпЛА. // Вісник Академії сухопутних військ., 2022. – № 1. – С. 93–101.
14. Богданов С. В. Маскування військ і об’єктів у сучасних умовах застосування безпілотних систем. // Збірник наукових праць НУОУ ім. І. Черняховського. – К., 2023. – № 4. – С. 25–33.
15. Датчук Д. А., Бабков Ю. П., Бондаренко О. Г. Результати ранжирування факторів, що впливають на розвідувальне забезпечення формувань Національної гвардії України // Честь і закон. 2025. № 2 (93). С. 52–65.
16. Попов М. О., Приходько В. І. Дистанційне зондування Землі : підручник. Київ : Арістей, 2007. 512 с.
17. Сидоренко Р.Г. Методика оцінки ефективності заходів маскування у видимому діапазоні довжин хвиль/ Р.Г. Сидоренко, Г.В. Акулінін, С.А. Безверхий // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. - с.31 – 37. DOI: 10.30748/soivt.2020.63.05 30.04.2026.
18. Савченко О. Г. Розвідка та спостереження з використанням БпЛА: тенденції, проблеми, контрзаходи. // Військова думка, 2023. – № 2. – С. 41–49.

19. Hori M., Aoki T., Tanikawa T. et al. Dependence of thermal infrared emissive behaviors of snow cover on the surface snow type // Bulletin of Glaciological Research. 2014. Vol. 32. P. 33–45.

20. Sharma A. K., Sharma S. K., Vasistha P., Mangalhara J. P. Estimation of Effect of Emissivity on Target Detection through Thermal Imaging Systems // Defence Science Journal. 2017. Vol. 67, No. 1. P. 28–35.

21. Табуненко В.О. Метод визначення ефективності використання автомобільної техніки підрозділами Національної гвардії України при патрулюванні в умовах воєнного стану / В. О. Табуненко, О. П. Марценяк. Системи озброєння і військова техніка. 2019. № 1. С. 135-139. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2019_1_21 30.04.2026.

22. Демаскуючі ознаки цілей: методичний посібник. — Київ: «СВАРОГ», 2023. — 58 с. https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023.pdf 30.04.2026.

23. Зайцев Є. П. Теорія ймовірностей і математична статистика. Базовий курс з індивідуальними завданнями і розв'язком типових варіантів: навч. посіб. Кременчук : Вид-во «Кременчук», 2012. 439 с.

24. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савіна С. С. Теорія ймовірностей і математична статистика: навч. посіб. У 2 ч. Київ : КНЕУ, 2001. Ч. 2. 336 с.

25. Бобик О. І., Берегова Г. І., Копитко Б. І. Теорія ймовірностей і математична статистика: підручник. Київ: Професіонал, 2007. 560 с.

26. Єжов С. М. Теорія ймовірностей, математична статистика і випадкові процеси: навч. посіб. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2001. 140 с.

27. Пушак Я. С., Лозовий Б. Л. Теорія ймовірностей і елементи математичної статистики: навч. посіб. Львів: Магнолія 2006.

28. Нечаєв В. П., Берідзе Т. М., Кононенко В. В. Теорія планування експерименту : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2020.

29. Засименко В. М. Основи теорії планування експерименту: навчальний посібник. Львів : Львівська політехніка, 2000.

30. Аністратенко В. О., Федоров В. Г. Математичне планування експерименту в АПК. Київ: Вища школа, 1993.

31. Полтавець В. В. Планування і обробка даних наукового експерименту. Донецьк : ДонНТУ, 2008.

32. Бабенко В. В. Основи теорії ймовірностей і статистичні методи обробки даних у психологічних і педагогічних експериментах. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2009.

33. Грабовецький Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с. ISBN 978-966-641-359-1.

34. Стеченко Д. М., Чмир О. С. Методологія наукових досліджень: підручник. Київ : Знання, 2005. 309 с.

35. Білей П., Адамовський М., Ханик Я., Довга Н., Сорока Л. Методологія наукових досліджень технологічних процесів. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. 352 с.

36. Коваль В. В. Удосконалена сукупність принципів застосування сил і засобів маскування військових об'єктів від технічних засобів повітряної

розвідки та наведення зброї противника. Системи озброєння і військова техніка. 2020. № 3(63). С. 13–18.

37. Коваль В. В. Сукупність основних принципів визначення раціонального складу сил і засобів для маскування та імітації військових об’єктів від технічних засобів повітряної розвідки та наведення зброї противника. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 4(41). С. 27–36.

38. Коваль В. В. Сукупність показників для оцінювання прогнозованої ефективності застосування сил і засобів маскування для захисту військових об’єктів від технічних засобів повітряної розвідки та наведення зброї противника. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2(43). С. 25–30.

39. Сидоренко Р. Г., Порохончук О. М. Оцінка ефективності засобів зниження помітності об’єктів у інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 159–163.

40. Кравчук І. С., Туренко С. М., Сподін О. І., Нікітченко В. І., Чигрин Р. М. Методика визначення маскувальних характеристик аерозольних утворень з урахуванням контрастності об’єктів, що прикриваються. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 147–153.

41. Іващук Б. М., Павлуша Ю. Г., Іващук Л. А. Аналіз основних параметрів безпілотних авіаційних комплексів тактичного класу щодо ведення повітряної розвідки. Системи озброєння і військова техніка. 2021. № 2(66). С. 17–22.

42. Ярош С. П., Гур’єв Д. О. Аналіз розвитку безпілотних літальних апаратів, способів їх бойового застосування та розробка пропозицій щодо організації ефективної боротьби з безпілотною авіацією. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2(43). С. 54–60.

43. Сінчук А. В., Бєлоус М. В., Сніцаренко В. В., Коваленко М. М. Пропозиції щодо застосування мультироторних безпілотних літальних апаратів для отримання розвідувальної інформації. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2023. № 1(75). С. 41–45.

44. Цибуля С. А. Визначення характерних кольорів місцевості в процесі розроблення маскувальних засобів. Військово-технічний збірник. 2023. № 28. С. 114–123.

45. Цибуля С. А., Галаган В. І., Третяк Н. М. Класифікація методів створення маскувальних малюнків засобів маскування та приховування. Системи озброєння і військова техніка. 2025. № 4(84). С. 49–59.

46. Цибуля С. А., Колос О. Л. Порівняння методів визначення маскувальних кольорів. Системи обробки інформації. 2026. № 1(184). С. 100–111.

47. Романченко І. С., Загорка О. М., Бутенко С. Г., Дейнега О. В. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони) : монографія. Житомир : Полісся, 2011. 344 с.

48. Daneshvar E., Amani Tehran M. Optimal camouflage colors determination using spectral reflectance of real-scene objects. Color Research & Application. 2021. Vol. 46, no. 2. P. 341–349.

49. Starešinič M., Simončič B., Bračko S. Using a digital camera to identify colors in urban environments. Journal of Imaging Science and Technology. 2011. Vol. 55, no. 6. P. 060201-1–060201-4.

50. Bian P., Jin Y., Zhang N.-R. Fuzzy c-means clustering based digital camouflage pattern design and its evaluation. Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Signal Processing. Beijing, 2010. P. 1017–1020.

51. Yang H., Yin J. A digital camouflage generation algorithm using color similarity. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. 2015. Vol. 10, no. 6. P. 159–164.

52. Kong Y., Liao C., Huang S., Qiu L., Deng L. A camouflage generation algorithm based on modified K-means clustering. Proceedings of SPIE. 2023. Vol. 12719. Art. 127194V.

53. Shi J., Deng L., Liao C., Ren B. Efficient digital camouflage pattern generation algorithm based on improved GA-K-means clustering algorithm. Proceedings of SPIE. 2024. Vol. 13210. Art. 132101C.

54. Wei X., Li G., Wang K. A novel method for automatic camouflage pattern synthesize. IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 67559–67568.

55. Fan D.-P., Ji G.-P., Sun G. et al. Camouflaged object detection. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020. P. 2844–2854.

56. Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, no. 6. P. 679–698.

57. Frackiewicz M., Mandrella A., Palus H. Fast color quantization by K-means clustering combined with image sampling. Symmetry. 2019. Vol. 11, no. 8. Art. 963.

58. Gunduz A. B., Taskin B., Yavuz A. G., Karsligil M. E. A better way of extracting dominant colors using salient objects with semantic segmentation. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2021. Vol. 100. Art. 104204.

59. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Cham: Springer, 2022.

60. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. 4th ed. Harlow : Pearson, 2018.

61. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York : Springer, 2006.

62. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge : MIT Press, 2016.

63. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature. 2015. Vol. 521, no. 7553. P. 436–444.

64. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 770–778.

65. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in Neural Information Processing Systems. 2015. Vol. 28.

66. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 779–788.

67. Tan M., Pang R., Le Q. V. EfficientDet: Scalable and efficient object detection. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020. P. 10781–10790.

68. Lin T.-Y., Dollár P., Girshick R. et al. Feature pyramid networks for object detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017. P. 2117–2125.

69. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. P. 3431–3440.

70. Liu W., Anguelov D., Erhan D. et al. SSD: Single shot multibox detector. Computer Vision – ECCV 2016. Cham : Springer, 2016. P. 21–37.

71. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. Sebastopol : O'Reilly Media, 2008.

72. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2004.

73. Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G. Pattern Classification. 2nd ed. New York : Wiley, 2001.

74. Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Hoboken : Wiley, 2015.

75. Jensen J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd ed. Harlow : Pearson, 2007.

76. Richards J. A., Jia X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. 5th ed. Berlin : Springer, 2013.

77. Schowengerdt R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3rd ed. Burlington : Academic Press, 2007.

78. Campbell J. B., Wynne R. H. Introduction to Remote Sensing. 5th ed. New York : Guilford Press, 2011.

79. Oke T. R. Boundary Layer Climates. 2nd ed. London : Routledge, 1987.

80. Monteith J. L., Unsworth M. H. Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere. 4th ed. Oxford : Academic Press, 2013.

81. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. Hoboken : Wiley, 2011.

82. Modest M. F. Radiative Heat Transfer. 3rd ed. Amsterdam : Academic Press, 2013.

83. Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications. 2nd ed. Weinheim : Wiley-VCH, 2017.

84. Holst G. C. Electro-Optical Imaging System Performance. 5th ed. Winter Park : JCD Publishing, 2008.

85. Rogalski A. Infrared Detectors. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2010.

86. Lloyd J. M. Thermal Imaging Systems. New York : Springer, 2006.

87. Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H. et al. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. Remote Sensing of Environment. 2013. Vol. 131. P. 14–37.

88. Sobrino J. A., Jiménez-Muñoz J. C., Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90, no. 4. P. 434–440.

89. Dash P., Göttsche F.-M., Olesen F.-S., Fischer H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. International Journal of Remote Sensing. 2002. Vol. 23, no. 13. P. 2563–2594.

90. Cott H. B. Adaptive Coloration in Animals. London : Methuen, 1940.

91. Endler J. A. A predator's view of animal color patterns. Evolutionary Biology. 1978. Vol. 11. P. 319–364.

92. Merilaita S., Lind J. Background-matching and disruptive coloration, and the evolution of cryptic coloration. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2005. Vol. 272, no. 1563. P. 665–670.

93. Stevens M., Cuthill I. C., Windsor A. M. M., Walker H. J. Disruptive contrast in animal camouflage. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2006. Vol. 273, no. 1600. P. 2433–2438.

94. Stevens M., Merilaita S. Animal Camouflage: Mechanisms and Function. Cambridge : Cambridge University Press, 2011.

95. Ruxton G. D., Sherratt T. N., Speed M. P. Avoiding Attack: The Evolutionary Ecology of Crypsis, Warning Signals, and Mimicry. 2nd ed. Oxford : Oxford University Press, 2018.

96. Troscianko J., Wilson-Aggarwal J., Stevens M., Spottiswoode C. N. Camouflage and visual perception. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2017. Vol. 372, no. 1724. Art. 20160338.

97. Watts A. C., Ambrosia V. G., Hinkley E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. Remote Sensing. 2012. Vol. 4, no. 6. P. 1671–1692.

98. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 92. P. 79–97.

99. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review. Applied Geomatics. 2014. Vol. 6, no. 1. P. 1–15.

100. Pajares G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2015. Vol. 81, no. 4. P. 281–330.