

УДК 621.03

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.63-72>

*Альона М'ясоєдова<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-6499-9058),*

*Віктор Гвоздь<sup>1</sup>, кандидат технічних наук, професор (ORCID: 0000-0003-2277-7972),*

*Михайло Дівізінюк<sup>2</sup>, доктор фізико-математичних наук, професор  
(ORCID: 0000-0002-5657-2302),*

*Роман Шевченко<sup>3</sup>, доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0001-9634-6943),*

*<sup>1</sup>Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

*Національного університету цивільного захисту України;*

*<sup>2</sup>Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища*

*Національної академії наук України»;*

*<sup>3</sup>Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

### **ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ПЕРЕВІРКИ ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІЯВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання у сфері цивільного захисту, а саме формуванню методики експериментальних досліджень з перевірки достовірності математичних моделей запобігання надзвичайних ситуацій терористичного характеру на об'єктах критичної інфраструктури України, що охороняються, шляхом своєчасного виявлення та ідентифікації малорозмірних безпілотних літальних апаратів активними оптичними засобами.*

*На основі аналізу встановлено, що однією з тенденцій розвитку терористичних сценаріїв на об'єктах критичної інфраструктури, що охороняються, є використання різних малогабаритних пілотованих і безпілотних літальних апаратів для проведення терористичних актів.*

*Наведена робота є продовженням циклу попередніх робіт з розробки структурно-логічної моделі управління організаційного і технічного характеру забезпечують безпеку об'єкту, що охороняється, при появі малорозмірних повітряних цілей. Розроблена методика експериментальних досліджень з перевірки достовірності математичних моделей виявлення сигналів, відбитих від надзвичайною ситуацією терористичного характеру на об'єкті критичної інфраструктури України, що охороняється, дозволила визначити наступне – результати всіх натурних експериментів, виконаних з використанням лабораторної установки, і теоретично розраховані значення очікуваних діяльностей виявлення цілей як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичної моделі виявлення сигналів, відбитих від малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища поглинання і розсіяння світла в оптично прозорих середовищах і математичної моделі виявлення та ідентифікації малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою пасивних оптичних систем.*

**Ключові слова:** *надзвичайна ситуація, малорозмірний безпілотний літальний апарат, достовірність, експериментальні дослідження.*

**Постановка проблеми.** *Слід з'ясувати область розглянутих терористичних надзвичайних ситуацій (НС). Для цього під охоронюваним потенційно-небезпечним об'єктом будемо мати на увазі державні і недержавні установи, які мають систему фізичного захисту. Розглядаючи НС терористичного характеру на потенційно-небезпечному об'єкті, що охороняється, слід відзначити, що для неї, як і для будь-якої надзвичайної ситуації,*

характерно п'ять етапів. Перший – це етап прихованого накопичення повсякденних негативних факторів. Другий етап – процес екстремального накопичення і розвитку негативних чинників, який переростає в третій етап – саме катастрофічна подія, аварія, вибух або інший терористичний акт. Четвертий і п'ятий етапи – це ліквідація наслідків катастрофічної події і віддалених наслідків НС. Два останні етапи характерні для будь-якої техногенної аварії, так як, наприклад, вибух на АЕС і ліквідація наслідків радіоактивного забруднення, а також віддалених наслідків будуть незалежно від того, відбудеться чи ні розрив першого контуру енергоблоку в результаті теракту або технологічного події. Слід зазначити, що достатня велика кількість терактів маскується під технологічні збої.

**Аналіз останніх публікацій і постановка проблеми.** Перший етап НС терористичного характеру має дуже високу скритність. Про формування мети теракту, розробку його задуму може знати лічана кількість людей. Дослідження потенційно-небезпечних об'єктів може бути побудовано по системним принципам, і до цього можуть залучатися офіційні державні установи та громадські організації. У цій діяльності, з точки зору міжнародного і українського права, ніяких порушень немає. Тому в першому етапі НС терористичного характеру пропонується виділити два підетапи. Перший з підетапів відповідає першій фазі теракту, а другий – другій. На другому підетапі (другій фазі теракту) відбувається впровадження на потенційно-небезпечний об'єкт шляхом влаштування на роботу зловмисників або вербування нестійких співробітників, за допомогою яких досліджуються технологічні та виробничі особливості об'єкта в інтересах коригування сценарію теракту. Ці діяння вже підлягають кримінальній відповідальності, і тому повинні своєчасно виявлятися і припинятися [1,2].

Перший етап НС терористичного характеру на потенційно-небезпечному об'єкті протікає приховано. Тому виявити його ознаки може тільки добре поставлена оперативно-розшукова діяльність і копітка системна робота співробітників фізичного захисту з різними базами даних, в тому числі про обстановку в контрольованих зонах [3-5].

Другий етап НС терористичного характеру відповідає третій фазі теракту. Це активні дії, які носять цілком ворожий характер. Проникнення на об'єкт за допомогою порушення роботи його пропускної системи, захоплення посадових осіб або членів їх сімей, відкрите напад – прорив параметра, який охороняється, повинні рішуче припинятися системою фізичного захисту потенційно-небезпечного об'єкта. Передбачені нею організаційно-технічні заходи, спрямовані на недопущення теракту на потенційно-небезпечному об'єкті, який прийнято називати об'єктом управління, являють собою процес управління надзвичайною ситуацією терористичного характеру [6-9]

Виходячи зі специфіки НС терористичного характеру на об'єкті, що охороняється потенційно-небезпечному об'єкті та враховуючи особливості процесів управління НС в інших областях [10-14] можна виділити наступні основні тенденції розвитку терористичних сценаріїв.

Перше – наближення терористичних актів до об'єктів критичної інфраструктури.

Друге – застосування інформаційних технологій для прихованої комунікації на всіх етапах підготовки і виконання терористичного акту, з одного боку, з іншого, використання цих технологій для масового інформування (фактично залякування) населення про свою діяльність.

Третє – використання останніх досягнень науки і техніки або сучасних ноу-хау, в тому числі нових матеріалів, біотехнологій та генної інженерії, а так само різних малогабаритних пілотованих і безпілотних літальних апаратів для проведення терористичних актів [15-18].

Таким чином, тенденції розвитку терористичних сценаріїв на об'єктах критичної інфраструктури, що охороняються характеризуються такими трьома видами. По-перше, в наближенні терористичних актів до об'єктів критичної інфраструктури. По-друге, в застосуванні інформаційних технологій для прихованої комунікації і залякування населення. По-третє, у використанні сучасних ноу-хау, в тому числі нових матеріалів, біотехнологій та

генної інженерії, а так само різних малогабаритних пілотованих і безпілотних літальних апаратів для проведення терористичних актів.

Тому основним завданням наукового дослідження є запобігання надзвичайних ситуацій терористичного характеру на об'єктах, що охороняються критичної інфраструктури України шляхом своєчасного виявлення та ідентифікації малорозмірних безпілотних літальних апаратів, для чого формується низка математичних моделей, які потребують формування методики експериментальної перевірки їх достовірності.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка методики проведення експериментальних досліджень з перевірки достовірності математичних моделей виявлення безпілотних літальних апаратів та її апробація.

Для досягнення мети необхідно:

- здійснити опис лабораторної установки та методики проведення експериментів з її використанням;
- опрацювати результати експериментів, виконаних з використанням лабораторної установки.

**Опис лабораторної установки.** Основою лабораторної установки є лазерний 3D сканер – Trimble 10X. Цей прилад призначений для проведення геодезичних зйомок місцевості та розташованих на ній інженерних споруд і конструкцій. Він складається з монохромного випромінювача і скануючого пристрою. Конструктивно випромінююча частина пов'язана з ноутбуком, де встановлено програмне забезпечення, що забезпечує обробку прийнятих відбитих лазерних сигналів і побудову тривимірного зображення. Програмне забезпечення з використанням пакетів програмного забезпечення Arc GIS-10.1 і Map Info формувало геоінформаційну систему зони відчуження і прилеглих до неї територій. Наявність цифрової карти місцевості, де проводилися експерименти, дозволяло виконувати його детальний аналіз і картографічне районування по одному або декільком заданим критеріям. Зазначене вище програмне забезпечення дозволяє використовувати статистичні дані, в тому числі, і бази даних, безпосередньо не пов'язані з геоінформаційною системою, і використовувати їх для моделювання різних сценаріїв розвитку процесів і подій на цифровій карті місцевості.

Встановлений сканер забезпечує опромінення простору в заданому секторі від 10 до 3600 по горизонту, по куту місця від 10 до 750, по дистанції від одного метра до 5,5 км. Час сканування визначалося обсягом побудов. Як правило, основна трьох мірна картина місцевості будується за кілька хвилин. Подальший час витрачається на деталізацію зображення. В цей час сканер може працювати і як засіб виявлення повітряних цілей, тому що фіксує птахів, що летять і підкинуті вгору малогабаритні предмети (банку, пляшку, пачка сигарет тощо).

**Формування методики проведення експериментів.** Методика проведення експериментів з використанням лабораторної установки передбачала виконання такого порядку дій.

1. Установка лабораторної установки в районі проведення експериментів і складання польотного завдання для БПЛА.

Літальний апарат повинен був виконати ряд паралельних галсів на видаленні 100 – 120 м один від одного, після чого здійснити посадку для зміни акумуляторів. За 10 – 12 хвилин польоту на висоті 50 – 100 м зі швидкістю 30 – 40 км / год (близько 10 м/с).

2. Особливість польоту БПЛА визначалася очікуваною дальністю виявлення. Рух в бік лабораторної установки проводився з позиції, розташованої на відстані, що перевищує на 50% очікувану дальність виявлення.

БПЛА рухався в сторону лабораторної установки до тих пір, поки не відбувалося його виявлення та ідентифікація. Ця дистанція фіксувалася як отриманий результат. Після цього БПЛА розвертався і летів у зворотному напрямку. Фіксувалася дистанція, на якій контакт з ціллю зникав. Це був черговий результат експерименту.

В районі вихідної позиції БПЛА розвертався, і все повторювалося знову, як показано на рис.1.

3. Для кожного літального апарату розраховувалися свої параметри проведення експериментів.

4. Отримані результати оброблялися і систематизувалися. Для кожного експерименту розраховувалися довірчі інтервали відповідно до критерію Стьюдента.

5. За аналізом експериментальних даних робилася перевірка центральної гіпотези експерименту, покладеної в основу розроблених трьох моделей (структурно-логічної і двох математичних).

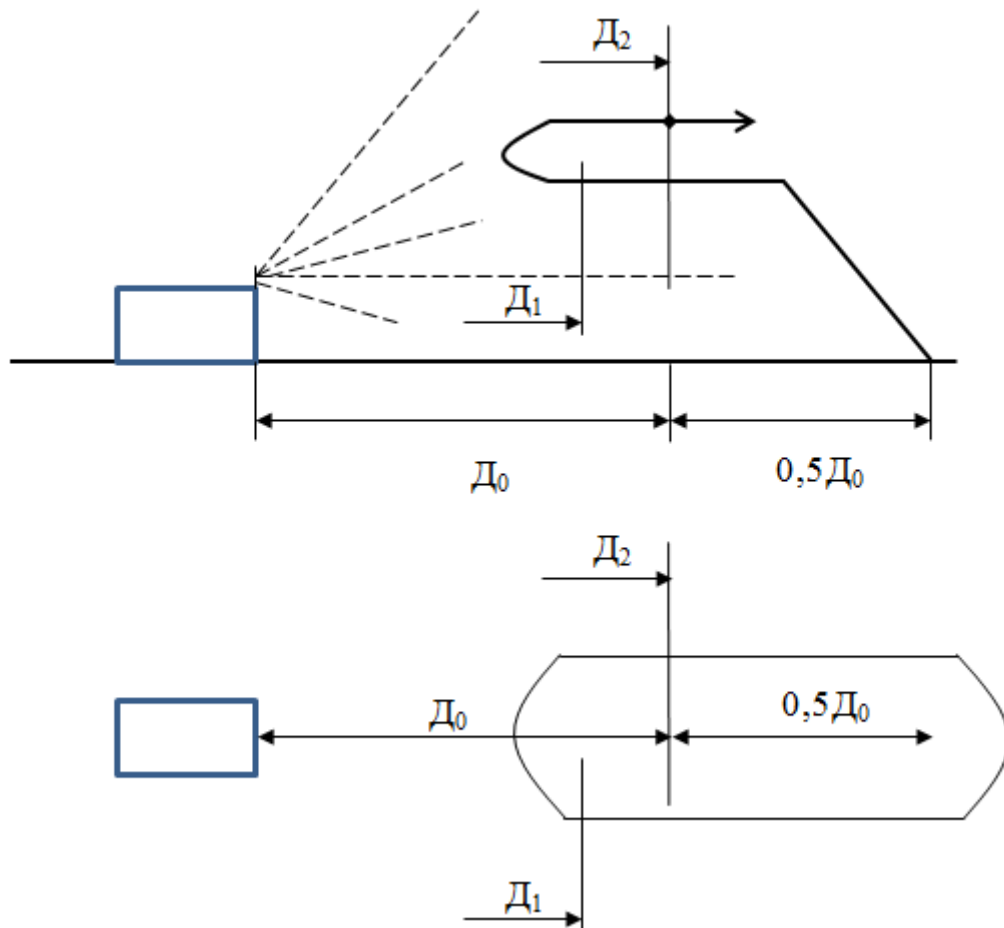


Рисунок 1 – Схема проведення експериментів.

Таким чином, створена лабораторна установка на базі лазерного 3D сканера і геоінформаційної системи району проведення експериментів з використанням пакетів програмного забезпечення Arc GIS-10.1 і Map Info і розроблена методика проведення експериментів з її використанням дозволяють за допомоги низки експериментів перевірити центральну гіпотезу, покладену в основу розроблених структурно логічної і двох математичних моделей.

**Результати експериментів, виконаних з використанням лабораторної установки.**

Було виконано три серії експериментів. Перша серія експериментів виконувалася при польотах квадрокоптера DJI Mavic Air 2. Друга серія експериментів виконувалася при польотах октокоптера Spreading Wings S1000 +. Обидві серії виконувалися відповідно до розробленої методики. Третя серія експериментів виконувалася при польотах октокоптера DJI S1000.

**Перша серія експериментів при польотах квадрокоптера DJI Mavic Air 2.**

Розрахована відповідно до першої математичної моделі, очікувана дальність виявлення сигналів, відбитих від квадрокоптера, в погодних умовах проведення експерименту склала 1508 м.

Вихідна позиція для підйому квадрокоптера в повітря розташовувалася на відстані більше двох км від лабораторної установки. Після підйому на висоту близько 100 м квадрокоптер почав горизонтальний політ в сторону лабораторної установки. На відстані 1481 м від лабораторної установки він був виявлений і ідентифікований як БПЛА типу квадрокоптер, що летить на висоті сто метрів, та наближається до охоронюваного об'єкту зі швидкістю 12 м/с. Після цього була дана команда, квадрокоптер розвернувся і продовжив політ в зворотному напрямку. Віддаляючись від лабораторної установки, з ним підтримувався стійкий контакт, який почав слабшати на відстані 1500 м і був втрачений на видаленні 1515 м. Це був перший епізод першої серії експериментів.

Другий політ квадрокоптера (другий епізод першої серії експериментів) виконувався аналогічним чином. Квадрокоптер був виявлений і ідентифікований на відстані 1490 м від лабораторної установки. Після розвороту і видаленні від неї (лабораторної установки), контакт з квадрокоптера був втрачений на відстані 1520 м.

Третій, четвертий і п'ятий епізоди виконувалися так само як попередні. Квадрокоптер в цих епізодах виявлявся і ідентифікувався на відстанях 1498, 1487 і 1495 м. Під час руху квадрокоптера в зворотному напрямку контакт був втрачений на видаленні 1525, 1510 і 1520 м.

Після п'яти епізодів першої серії експериментів квадрокоптер був посаджений для перезарядки акумуляторів. Після повторного підйому в повітря було виконано ще п'ять епізодів. Результати десяти епізодів першої серії експериментів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати першої серії експериментів

№	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>
1	1481	1515
2	1490	1520
3	1498	1525
4	1487	1510
5	1495	1520
6	1492	1515
7	1479	1510
8	1482	1515
9	1490	1525
10	1486	1515

Результати першої серії експериментів такі. Мінімальна дальність виявлення та ідентифікації квадрокоптера була рівною 1479 м, а найбільша – 1498 м. Мінімальна дистанція втрати контакту становила 1510 м, а найбільша – 1525 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 1476,25 до 1499,75 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих результатів виявлення і втрати контакту з квадрокоптера, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

**Друга серія експериментів при польотах октокоптера Spreading Wings S1000 +**

Розрахована відповідно до першої математичної моделі, очікувана дальність виявлення сигналів, відбитих від октокоптера, в погодних умовах проведення експерименту склала 4525 м.

Вихідна позиція для підйому октокоптера в повітря розташовувалася на відстані більше шести км від лабораторної установки. Після підйому на висоту близько 60 м октокоптер почав горизонтальний політ в сторону лабораторної установки. На видаленні 4210 м від лабораторної установки він був виявлений і ідентифікований як БПЛА типу октокоптер, що летить на висоті півсотні метрів, та наближається до охоронюваного об'єкту зі швидкістю 10 м / с. Після цього була дана команда, октокоптер розвернувся і продовжив політ в зворотному напрямку. Віддаляючись від лабораторної установки, з ним підтримувався стійкий контакт, який почав слабшати на відстані 4500 м і був втрачений на видаленні 4590 м. Це був перший епізод другої серії експериментів.

Другий політ октокоптера (другий епізод другої серії експериментів) виконувався аналогічним чином. Октокоптер був виявлений і ідентифікований на відстані 4120 м від лабораторної установки. Після розвороту і руху в зворотному напрямку, контакт з октокоптером був втрачений на відстані 4550 м.

Після двох епізодів другої серії експериментів октокоптер був посаджений для перезарядки акумуляторів. Після повторного підйому в повітря і наступних посадок для перезарядки, було виконано ще вісім епізодів. Результати десяти епізодів другої серії експериментів представлені в таблиці 2.

Результати другої серії експериментів такі. Мінімальна дальність виявлення та ідентифікації октокоптера дорівнювала 4080 м, а найбільша – 4230 м. Мінімальна дистанція втрати контакту становила 4520 м, а найбільша – 4600 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 4066,45 до 4608,25 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих результатів виявлення і втрати контакту з октокоптером, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

Таблиця 2 – Результати другої серії експериментів

№	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>
1	4210	4590
2	4120	4550
3	4230	4580
4	4170	4570
5	4245	4600
6	4200	4560
7	4080	4520
8	4150	4540
9	4110	4570
10	4210	4600

**Третя серія експериментів при польотах октокоптера DJI S1000.**

Відмінність октокоптера DJI S1000 від попереднього октокоптера полягала у тому, що в його склад входили: бортовий контролер DJI A2; комплект навігації (GNSS (GPS +

ГЛОНАСС + Галілео); двигуни AXI 2814/22 (Чехія); гвинти APC 14 (карбон); контролери двигунів 60A ESC OEM; бортова камера; відео передавач 5.8МГц 600МВ; 3х-осьовий магнітометр; 3х осьової гіроскоп; 3х-осьовий акселерометр; ультразвуковий датчик (висотомір); електронна система стабілізації; система управління Futaba 14. Це дозволяло здійснювати підйом октокоптера на різну висоту на різних дистанціях від лабораторної установки.

Планувалося виконати чотири підйому октокоптера на відстані близько 500 м. Потім на відстані один, два і п'ять км.

Перший підйом октокоптера виконувався на відстані близько півкілометра від лабораторної установки. Спочатку він був піднятий на висоту 50-60 м і завис над лісом, як показано на рис.2.

Практично відразу ж він був виявлений лабораторною установкою. Маневри по висоті досягали 300 м, а підвішена відеокамера дозволяла детально розглядати і лабораторну установку і людей, що знаходяться поруч. Мінімальна дальність супроводу дорівнювала 420 м, а найбільша – 480 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 415,47 до 485,9 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих результатів виявлення, що свідчить про хорошу збіжність результатів.



Рисунок 2 – Схема підйому октокоптера

Другий підйом октокоптера виконувався на відстані більше кілометра від лабораторної установки. Маневри по висоті досягали 300 м, Вони майже відразу після підйому він був виявлений і ідентифікований. Маневри по висоті досягали 500 м, а підвішена відеокамера дозволяла детально розглядати і лабораторну установку і людей, що знаходяться поруч. Мінімальна дальність супроводу була рівною 1220 м, а найбільша – 1400 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 1218 до 1422 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих діяльностей виявлення, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

Третій підйом октокоптера виконувався на відстані близько двох км від лабораторної установки. Спочатку він був піднятий на висоту 200 м і практично відразу ж він був виявлений і ідентифікований. Маневри по висоті не перевищували 500 м, а підвішена

відеокамера дозволяла детально розглядати і лабораторну установку і людей, що знаходяться поруч. Мінімальна дальність супроводу була рівною 1980 м, а найбільша – 2200 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 1840 до 2240 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих діяльностей виявлення, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

Четвертий підйом октокоптера виконувався на відстані близько п'яти км від лабораторної установки. Його маневри по висоті досягали 500 м. Особливо чітко фіксувалися відбиті від октокоптера сигнали, коли підвішена відеокамера розгорталася на сканер і інтенсивно відображала падаюче лазерне опромінення. Мінімальна дальність супроводу була рівною 4820 м, а найбільша – 4900 м.

Довірчий інтервал, розрахований з надійністю 0,99, для цього експерименту склав від 4810 до 4940 м. У його межах розташовуються всі значення отриманих діяльностей виявлення, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

**Обговорення отриманих результатів дослідження.** Сильною стороною дослідження є те, що результати всіх натурних експериментів, виконаних з використанням лабораторної установки, і теоретично розраховані значення очікуваних діяльностей виявлення цілей як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичної моделі виявлення сигналів, відбитих від малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища поглинання і розсіяння світла в оптично прозорих середовищах і математичної моделі виявлення та ідентифікації малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою пасивних оптоелектронних систем. Подальший аналіз отриманих результатів дозволяє визначити конкретні практичні рекомендації.

Слабкою стороною застосування обраного підходу є необхідність отримання нових вихідних даних у разі розгляду, наприклад, нових варіантів оперативного розгортання, або залучення оперативних розрахунків з чисельністю особового складу, яка є меншою, ніж нормативна.

**Висновки.** Створена лабораторна установка на базі лазерного 3D сканера і геоінформаційної системи району проведення експериментів з використанням пакетів програмного забезпечення Arc GIS-10.1 і Map Info і розроблена методика проведення експериментів з її використанням дозволяють за допомоги низки експериментів перевірити центральну гіпотезу, покладену в основу розроблених структурно логічної і двох математичних моделей.

Результати всіх натурних експериментів, виконаних з використанням лабораторної установки, і теоретично розраховані значення очікуваних діяльностей виявлення цілей як частина численних експериментів розташовуються в межах довірчих інтервалів, розрахованих відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99, що свідчить про хорошу збіжність результатів експериментів і теоретичних розрахунків. Це в свою чергу підтверджує достовірність математичної моделі виявлення сигналів, відбитих від малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища поглинання і розсіяння світла в оптично прозорих середовищах і математичної моделі виявлення та ідентифікації малорозмірних безпілотних літальних апаратів за допомогою пасивних оптоелектронних систем.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Атакующая техника «RV» украинской фирмы «ВЕЧЕ» / Защита информации. – К.: Каталог, 1994. – №2. – С.62 – 76.
2. Ронгэ М. Э. Разведка и контрразведка / М. Э. Ронгэ // – Киев: Синто, 1993. – 239 с.
3. Виноградов А. В. Спецтехника / А. В. Виноградов // – Киев: Бизнес, 2002. – 84 с.



4. Вовченко В. В. «Элинвест» в защите атома / В. В. Вовченко. // – К.: «Элинвест», 2005. – 108 с.
5. Вудко Б. В. Техническая разведка / Вудко Б. В. // – Харьков: Крипто, 2000. – 195 с.
6. Гредасов Ф. И. Подразделения в разведке / Ф. И. Гредасов // – Харьков: Юриздат, 1999. – 198 с.
7. Гончаренко В. И. Рождество в Афинах / В. И. Гончаренко // Новости разведки и контрразведки. – К.: Ньюиздат, 1996. – №1. – С. 58 – 69.
8. Коммерческая безопасность / Под ред. В. М. Чаплыгина. – Харьков: ИнфоАрт, 2013. – 128 с.
9. Замятин Л. Д. Секреты секретных служб / Л. Д. Замятин. // Новости разведки и контрразведки. – К.: Ньюиздат, 1996. – №2. – С. 46 – 57.
10. Технические средства разведки / Под ред. В. И. Мухина. – М.: РВСН, 1992. – 394 с.
11. Вартанесян В. А. Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1992. – 254 с.
12. Эйджи Ф. За кулисами спецслужб / Пер. с англ. М.: Воениздат, 2002. – 464 с.
13. Информационное противоборство в современных условиях / Под ред. В. А. Хорошко // Монография – К.: ЦП «Компринт», 2019. – 226 с.
14. Богданович В. Ю. Теоретичні основи забезпечення національної безпеки України в умовах позаблоковості: Монографія / В. Ю. Богданович, І. С. Романченко, І. Ю. Свіда. – Львів: АСВ, 2011. – 414 с.
15. Ліпкан В. А. Інформаційна безпека України в умовах євроінтеграції: Серія «Національна і міжнародна безпека». – К.: КНТ, 2006. – 206 с.
16. Основы оперативно-розыскной деятельности / Под ред. Б. А. Воронцова-Вельяминова. – Харьков: Изд-во АстроПринт, 2011. – 287 с.
17. Основы оперативно-розыскной деятельности / Под ред. Э. А. Дидаренко. – Харьков: Изд-во Твирпс, 2010. – 282 с.
18. Противоправная деятельность экстремистских групп. Доступ: <http://www.twirpx.com/file/364>

#### REFERENCES

1. Attacking technique "RV" of the Ukrainian firm "VECHE" / Protection of information. – К.: Catalog, 1994. – No. 2. – P.62 – 76.
2. Ronge M. E. Intelligence and counterintelligence / M. E. Ronge // – Kyiv: Sinto, 1993. – 239 p.
3. Vynogradov A. V. Special technique / A. V. Vinogradov // – Kyiv: Business, 2002. – 84 p.
4. Vovchenko V. V. "Elinvest" in protecting the atom / V. V. Vovchenko. // – К.: Elinvest, 2005. – 108 p.
5. Vudko B. V. Technical intelligence / Vudko B. V. // – Kharkiv: Krypto, 2000. – 195 p.
6. Hredasov F. I. Divisions in reconnaissance / F. I. Gredasov // – Kharkiv: Yuryzdat, 1999. – 198 p.
7. Honcharenko V. I. Christmas in Athens / V. I. Goncharenko // News of intelligence and counterintelligence. – К.: Newizdat, 1996. – No. 1. – pp. 58-69.
8. Commercial security / Ed. V. M. Chaplygina – Kharkov: InfoArt, 2013. – 128 p.
9. Zamyatin L. D. Secrets of secret services / L. D. Zyamatin // Intelligence and counterintelligence news. – К.: Newizdat, 1996. – No. 2. – P. 46 – 57.
10. Technical means of reconnaissance / Ed. YOU. Mukhina – М.: RVSН, 1992. – 394 p.
11. Vartanesyan V. A. Electronic reconnaissance. – М.: Voenizdat, 1992. – 254 p.
12. Eiji F. Behind the scenes of the special services / Trans. with English М.: Voenizdat, 2002. – 464 p.
13. Information warfare in modern conditions / Under the editorship of V. A. Khoroshko // Monograph – К.: СР "Comprint", 2019. – 226 p.

14. Bohdanovich V. Yu. Theoretical foundations of ensuring the national security of Ukraine in conditions of non-alignment: Monograph / V. Yu. Bogdanovych, I. S. Romanchenko, I. Yu. Svida – Lviv: ASV, 2011. – 414 p.
15. Lipkan V. A. Information security of Ukraine in the conditions of European integration: "National and international security" series. – K.: KNT, 2006. -206 p.
16. Fundamentals of operative and investigative activity / Ed. B. A. Vorontsova-Velyaminova. – Kharkiv: AstroPrint Publishing House, 2011. – 287 p.
17. Fundamentals of operative and investigative activity / Ed. E. A. Didarenko. – Kharkiv: Tvirps Publishing House, 2010. – 282 p.
18. Anti-legal activity of extremist groups. Accessed from: <http://www.twirpx.com/file/364>

*Alyona Myasoyedova<sup>1</sup>,*

*Viktor Hvozď<sup>1</sup>, Candidate of technical science, professor,*

*Mykhailo Divizinyuk<sup>2</sup>, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor,*

*Roman Shevchenko<sup>3</sup>, Doctor of Technical Sciences, professor,*

*<sup>1</sup>Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl University  
of Civil Defense of Ukraine;*

*<sup>2</sup>State institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National  
Academy of Sciences of Ukraine»;*

*<sup>3</sup>National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

#### **DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL RESEARCH METHODS FOR VERIFYING THE RELIABILITY OF MATHEMATICAL MODELS FOR THE DETECTION OF UNMANNED AIRCRAFT**

*The work is devoted to the solution of an actual scientific task in the field of civil protection, namely, the formation of experimental research methods for verifying the reliability of mathematical models for the prevention of emergency situations of a terrorist nature at the objects of the critical infrastructure of Ukraine, which are protected, by means of timely detection and identification of small unmanned aerial vehicles by active optoelectronic means .*

*Based on the analysis, it was established that one of the trends in the development of terrorist scenarios at protected critical infrastructure facilities is the use of various small manned and unmanned aerial vehicles to carry out terrorist acts.*

*This work is a continuation of the cycle of previous works on the development of a structural and logical management model of an organizational and technical nature that ensures the safety of the protected object in the event of the appearance of small air targets. The developed method of experimental research to verify the reliability of mathematical models for detecting signals reflected from an emergency situation of a terrorist nature at a protected critical infrastructure object of Ukraine allowed to determine the following – the results of all field experiments performed using a laboratory installation, and theoretically calculated values of expected activities detection of targets as part of numerous experiments are located within the confidence intervals calculated according to the Student's criterion with a reliability of 0.99, which indicates a good convergence of experimental results and theoretical calculations. This, in turn, confirms the reliability of the mathematical model for detecting signals reflected from small unmanned aerial vehicles using active optical systems that use the phenomena of light absorption and scattering in optically transparent media and the mathematical model for detecting and identifying small unmanned aerial vehicles using passive optoelectronic systems.*

**Key words:** *emergency situation, small unmanned aerial vehicle, reliability, experimental research.*