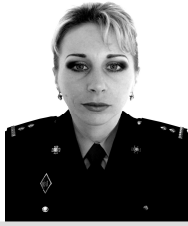




Г. А. Дробаха



Л. В. Сафoшкіна



В. Е. Лісіцин



В. А. Музичук

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ТА МОЖЛИВИХ НАПРЯМКІВ ЗАВДАННЯ УДАРІВ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ПО ОБ'ЄКТАХ, ЩО ОХОРОНЯЮТЬСЯ

*Розглянуто особливості застосування ударного безпілотного літального апарата (БПЛА) та проаналізовано загрози, які виникають під час охорони складів озброєння та важливих державних об'єктів. Для електронної карти місцевості розроблено імітаційну модель, за допомогою якої може бути отриманий статистично значущий результат у вигляді математичного сподівання оцінки ступеня ураження (нейтралізації) БПЛА за умов багаторазового її виконання.*

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, імітаційна модель, методи імітаційного моделювання, безпілотні літальні апарати.

**Постановка проблеми.** Останнім часом стає дедалі актуальнішою потреба забезпечити більш надійну охорону важливих державних об'єктів та складів боєприпасів і озброєння Національної гвардії України (НГУ). Серед основних завдань, які потребують у цьому контексті нагального вирішення, є організація системи прикриття об'єктів, що охороняються, від дій ударних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Така необхідність виникає на тлі останніх подій, пов'язаних з вибухами на складах зберігання боєприпасів у Харківській і Чернігівській областях. Наприклад, 9 жовтня 2018 р. серія вибухів на складах, які сталися на 6-му арсеналі Збройних Сил України в Ічні. Цей арсенал став третім складом боєприпасів стратегічного значення в Україні, на яких трапилося подібне за останні півтора року. Таким чином, потреба дослідження зазначеної тематики на сьогодні сумніву не викликає.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За допомогою геоінформаційних технологій було створено імітаційну модель, яка дозволяє оцінити ризики та можливі напрямки завдання ударів з боку БПЛА на об'єкти, що охороняються, а також вибрати розташування систем, засобів захисту та виявлення повітряної загрози. Розглянемо детально елементи цієї моделі [1].

До найважливіших властивостей ударного БПЛА відносять живучість, завадозахищеність та прихованість [2]. Живучість – це можливість БПЛА зберігати свою боєздатність, тобто здатність виконувати свої функції за наявності бойових пошкоджень. Живучість може бути схарактеризована сукупністю законів поразення типовими боєприпасами (боєприпаси у моделі прийняті за еталонні), або боєприпасами, які використовуються для засобів протиповітряної оборони (ППО), розташованих на певному об'єкті, що підлягає охороні. Зокрема, зручно використовувати радіус зони поразення певними боєприпасами, який, своєю чергою, залежить від таких характеристик БПЛА, як його габарити, маневреність, наявність броньового захисту тощо.

На сьогодні серед існуючого в Україні озброєння ППО для охорони від ударних БПЛА найдоцільнішим є використання самохідної зенітної установки ЗСУ-23-4 “Шилка” [3]. При цьому враховуються велика кількість таких установок, що перебувають на зберіганні, та потужності Балаклійського ремонтного заводу, який свого часу був єдиним підприємством у СРСР, що здійснювало капітальний ремонт цих установок.

Прихованість – це властивість ударного БПЛА не бути виявленим засобами контролю повітряного простору ППО (радіолокаційні станції, акустичні прилади тощо) на об'єктах, що охороняються. Прихованість визначається станом БПЛА (у русі, в укритті), його габаритами та світловідбиваючими властивостями поверхні літака, наявністю демаскувальних ознак (випромінювання, шум під час руху). Важливими параметрами моделі для дії ударного БПЛА є швидкість польоту та можливість здійснювати у повітрі маневр за командами, отриманими із землі, або програми польоту, що містяться у блоці управління БПЛА. У зв'язку із цим може скластися така ситуація, що літальний апарат буде виявлений занадто пізно, коли він вже знаходиться безпосередньо над ціллю. Тому у процесі оцінювання прихованості важливо контролювати такі параметри засобів ППО, як радіус виявлення БПЛА та можливість супроводження цілі, що виявлена.

Завадозахищеність – це властивість ударного БПЛА виконувати бойові функції в умовах створення завад засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ), які входять до складу апаратури, що може застосовуватися під час охорони об'єктів. Головною характеристикою завадозахищеності є ймовірність нормального функціонування БПЛА в умовах дії певних засобів РЕБ на об'єктах, що охороняються. Оскільки тактико-технічні дані таких засобів РЕБ є інформацією із різним ступенем таємності, замість них у моделі, що створюється, використовуються типові радіоелектронні завади з можливістю зміни їх потужності (радіусу дії) у прив'язці до певних засобів РЕБ.

Серед апаратури, яка здійснює наведені вище функції, – комплекси “Анклав”, “Буковель” і “Нота”, що виготовляються на вітчизняних підприємствах [4]. Принцип дії такого захисту полягає у створенні апаратурою РЕБ потужного електромагнітного сигналу кругової спрямованості, який перешкоджає БПЛА отримувати команди управління із землі та координати від апаратури навігації GPS/ГЛОНАСС. Через втрату управління літальний апарат не спроможний виконати точне наведення на ціль і змушений повернутися у точку запуску або здійснити посадку. Тому у моделі важливим показником є радіус дії засобів РЕБ, які встановлюються у

секторах території, що охороняється. Слід зауважити, що у моделі вказуються не реальні значення цього показника, а типові, еталонні радіуси з можливістю їх коригування під час моделювання реальної обстановки.

Як приклад застосування таких системна армійських складах в Ічні, – комплекс РЕБ “Нота”, зображений на рис. 1.



Рис. 1. Комплекс РЕБ “Нота”, що розгорнутий у польових умовах

Цю систему застосовують (вмикають) у випадку попереднього візуального або акустичного виявлення цілей. Важливим є забезпечити її роботу сумісно з постами спостереження повітряного простору.

**Мета статті** – розкрити підхід до принципу імітаційного моделювання для оцінювання ризику та визначення потенційно загрозливих напрямків завдання ударів з боку БПЛА по об'єктах, що охороняються. За допомогою моделі може бути отриманий статистично значущий результат у вигляді математичного сподівання оцінки ступеня поразення (нейтралізації) БПЛА за умов багаторазового її виконання.

**Виклад основного матеріалу.** Чи завжди системи РЕБ спроможні ефективно захистити територію, що охороняється від БПЛА? Так, якщо управління системою такого літального апарата базується тільки на глобальній системі супутникової навігації (ГССН) GPS/ГЛОНАСС. Проте для того, щоб забезпечити автономність та спроможність навігації БПЛА в умовах

інтенсивної дії завад для радіосигналу або у місцях, де прийом сигналу GPS ускладнений через особливості рельєфу місцевості, на ударний літальний апарат, може бути додатково встановлено блок інерціальних датчиків просторової орієнтації.

Сутність інерціальної системи полягає у визначенні прискорення літального апарата та його кутових швидкостей за допомогою спеціальних пристроїв, а також розрахунку на основі цих даних місцезнаходження (координат) рухомого об'єкта, його швидкості, напрямку руху та довжини пройденого шляху. Також розраховуються параметри, необхідні для стабілізації літального апарата у повітрі та автоматичного управління його рухом. Це здійснюється за допомогою:

- датчиків лінійного прискорення;
- гіроскопічних пристроїв, які відтворюють на об'єкті систему відліку і дають можливість визначити кути обертання та нахилу літального апарата, що, своєю чергою, застосовується для його стабілізації у повітрі та керування рухом БПЛА;
- бортового комп'ютера, який за прискоренням літального апарата у трьох напрямках, що отримане за допомогою датчиків шляхом інтегрування значень цих прискорень, розраховує швидкість, координати та інші параметри руху БПЛА.

Основу гіроскопічного датчика становить гіроскоп – пристрій, що має вільну вісь обертання і може реагувати на зміну кутів орієнтації об'єкта, на якому він встановлений.

Головною частиною гіроскопа є ротор, що швидко обертається і має кілька ступенів свободи (осей можливого обертання). Найчастіше використовують гіроскопи, які розташовані у карданному підвісі, – універсальній шарнірній опорі, що дозволяє закріпленому в ній об'єкту обертатися одночасно в кількох площинах.

Сьогодні створені досить точні гіроскопічні системи, які використовуються у вигляді компонентів в інерціальних системах навігації

(ІНС), а також у системах стабілізації та орієнтації польоту. Тому основу навігаційної системи сучасного ударного БПЛА можуть складати приймачі глобальної системи супутникової навігації у сукупності із блоком інерціальних датчиків просторової орієнтації. У разі втрати сигналу від ГССН навігаційна система літального апарата переходить в автономний режим.

Така подвійна система забезпечує прийнятне визначення місцеположення БПЛА і параметрів його руху. Найкращі зразки ІНС здатні підтримувати точність упродовж кількох хвилин після втрати сигналу від ГССН на рівні 100–150 м за умов підтримання прямолінійного руху без прискорення. Принциповим обмеженням ІНС є зростання похибки визначення координат у процесі автономної роботи. Точність автономного розрахунку координат для сучасних ІНС складає приблизно 1,8 км за годину польоту (для систем високої точності), що не дає змоги забезпечити високоточне визначення координат точкових цілей. Тому інерціальна система навігації ударного БПЛА може бути застосована на останньому сегменті шляху до цілі, коли літак потрапляє у зону дії апаратури РЕБ на об'єкті, що охороняється. У таблиці подано порівняння двох методів навігації для БПЛА.

У моделі, що створена, є можливість додавати присутність інерціальної системи на борту ударного БПЛА. Тоді у разі наявності ІНС припускається, що поразення БПЛА за допомогою засобів РЕБ неможливе.

Перш ніж завдати удар по військовому складу або об'єкту, що охороняється, БПЛА повинен здійснити підліт до цілі. При цьому можливі різні варіанти.

Перший варіант: координати об'єкта, що охороняється, відомі заздалегідь і отримані у результаті супутникової зйомки або, наприклад, дій розвідувального підрозділу противника.

#### Порівняння методів навігації

Метод навігації	Точність	Оперативність	Автономність	Стійкість
Супутникова навігація	+++	++	-	+
Інерціальна навігація	+	+++	+++	+++

Ця ситуація характерна для великих стаціонарних об'єктів, місце розташування яких добре відомо і не змінюється протягом тривалого часу (наприклад, склади у Новобогданівці та Ічні). У цьому випадку у систему управління польотним завданням БПЛА безпосередньо закладається траса польоту до об'єкта з можливим виконанням стандартного маневру для уникнення поразення засобами ППО під час прямування до цілі (рис. 2).

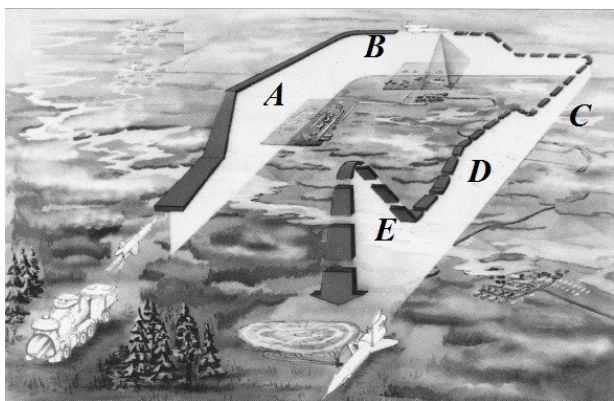


Рис. 2. Можлива траса з елементами маневру під час польоту до цілі ударного тактичного БПЛА

Якщо попередньою розвідкою визначено координати цілі, то літальний апарат проходить відстань від точки старту до точки завдання удару із максимальною швидкістю, щоб уникнути можливості поразення звичайними вогневими засобами (автоматичною зброєю). Для мінімізації можливості виявлення апарата засобами ППО така траса на крейсерському відрізку польоту повинна пролягати максимально близько до рельєфу місцевості, фактично повторюючи його контури на деякій висоті (segment C на рис. 2). При цьому враховуються не тільки природний рельєф місцевості, а й висоти будівель, ліній електропередач тощо у тому разі, коли траса проходить крізь населені пункти (segment A та B на рис. 2). Ще один варіант уникнення поразення від автоматичної зброї – набір висоти над виявленими позиційними районами розташування підрозділів НГУ. Апарат при цьому виводиться на недосяжну для автоматичної зброї висоту (segment D на рис. 2). Із тією ж самою метою на відрізку траси безпосередньо перед виконанням удару літальний апарат виконує набір висоти (segment E на рис. 2).

Другий варіант: місце розташування складу або об'єкта, що охороняється, не визначено або визначено із деякою часткою ймовірності. Такий випадок може статися, коли охороняється мобільний об'єкт або на об'єкті за допомогою маскування встановлені, так звані, “фальшиві” цілі. У цьому разі потрібне додаткове розвідування певної території, і місія БПЛА стає розвідувально-ударною. Це збільшує ймовірність його поразення під час виконання пошуку на великій території.

Під час планування траси польоту розвідувально-ударного БПЛА необхідно врахувати деякі особливості цього процесу і забезпечити певні вимоги щодо:

- типу, параметрів та можливостей знімальної апаратури на борту літака;
  - висот та швидкості польоту літального апарата на певних сегментах траси;
  - можливостей виконання маневру у вигляді зміни напрямку польоту, радіусу розвороту (що, своєю чергою, залежить від аеродинамічної схеми – мультикоптерної або літакової, за якою виконано фюзеляж БПЛА);
  - наявності на шляху прокладання траси зон, заборонених для польоту (наприклад, зони з інтенсивною дією засобів РЕБ);
  - дальності польоту (ємність акумуляторної батареї або достатній рівень палива, які гарантують досягнення літаком кінцевої точки для завдання удару);
  - отримання серії знімків (або відеоряду), що покриває всю територію, яка підлягає розвідуванню, а також планування паралельних сегментів траси у разі обльоту великих територій за площиною;
  - наявності певного перекриття знімків на паралельних сегментах траси.
- Усі ці вимоги мають бути враховані під час комп'ютерного моделювання траси польоту БПЛА на електронній карті. Модель дозволяє планувати траси для польоту розвідувально-ударного БПЛА.
- Також у моделі є можливість встановити значення швидкості та висоти в окремих вузлах траси (див. рис. 3).

До складу моделі, що створюється, входить електронна карта району, який охороняється, у вигляді фрагменту супутникового знімка (джерело – сервіс Googlemaps) з географічною прив'язкою до координат місцевості у системі координат СК-1942 (див. рис. 4).

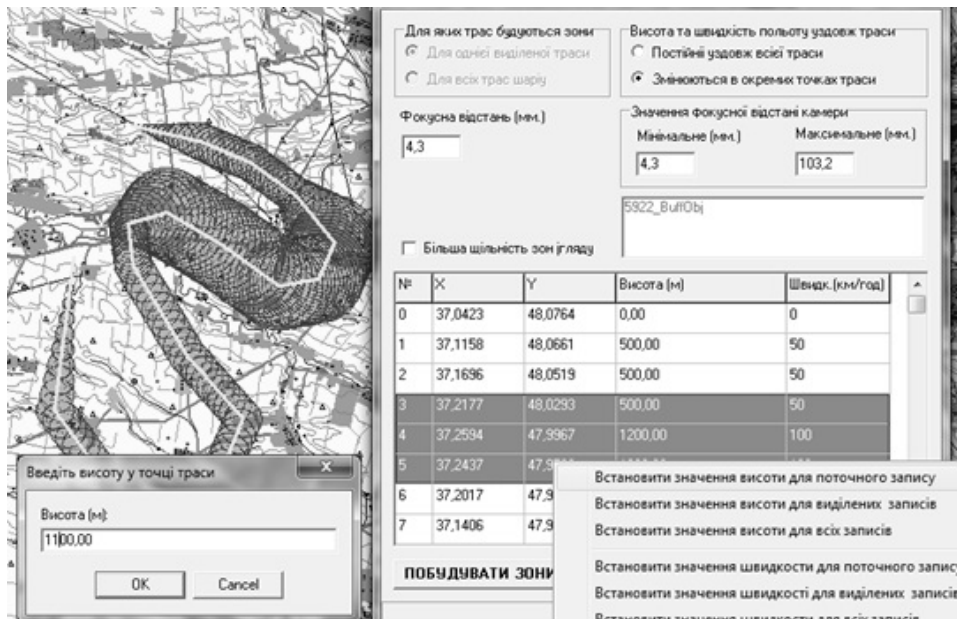


Рис. 3. Зони видимості БПЛА, побудовані за умов змінної висоти польоту



Рис. 4. Фрагмент карти для військового складу в Ічні, створений за допомогою ГІС “Інструмент”

У цій роботі застосовуються методи імітаційного моделювання на електронній карті [5, 6, 7]. Теоретичною основою цих методів є закон великих чисел: якщо кількість незалежних випробувань не обмежена, то середнє арифметичне значення, що спостерігається для випадкової величини, яка має кінцеву дисперсію, сходиться до його математичного сподівання.

Пояснимо це більш детально з урахуванням наведених елементів моделі. Процес моделювання починається із заданого моменту старту на карті БПЛА у початковій точці його траєкторії [8]. Далі передбачається, що рухаючись у напрямку цілі, літак зі змінними швидкістю та висотою польоту

поступово входить у зону дії постів спостереження і з певною часткою ймовірності (від 0 до 1 залежно від характеру його руху, показників помітності та типу поста спостереження) стає виявленим цими постами (рис. 5) [2].

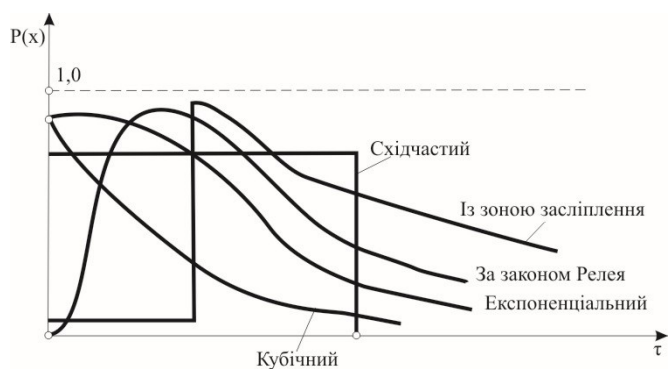


Рис. 5. Можливі закони для ймовірності виявлення цілі залежно від тривалості та дальності спостереження

У наступному кроці моделювання відображаються події, коли літальний апарат входить у зону дії апаратури РЕБ, усередині якої з імовірністю від 0 до 1 може бути знешкоджений за допомогою потужного електромагнітного випромінювання. При цьому значення 0 для ймовірності знешкодження призначається у тому випадку, коли БПЛА оснащений додатковою автономною системою навігації ІНС.

Після цього у дію в моделі вступають імітатори засобів ППО. Для всіх типів зброї (включаючи звичайну автоматичну зброю) існують показники дальності стрільби (радіуси ураження) –  $X_{\max}$  та  $X_{\min}$ , які, своєю чергою, є випадковими величинами, що залежать, наприклад, від метеорологічних умов.

На час ведення вогню за законом поразення цілі в моделі розраховується ймовірність поразення цілі, яка також є випадковою величиною, що залежить від розміру та загальної площі БПЛА, типу зброї, з якої ведеться вогонь тощо.

За один цикл запуску моделі розраховується випадкова величина нейтралізації БПЛА, яка залежить від імовірностей, наведених вище [9]. У кожному циклі моделювання отримується інше значення цієї випадкової величини. І тільки у випадку багаторазового запуску моделі буде одержано статистично значущий результат у вигляді математичного сподівання поразення (нейтралізації) БПЛА.

Електронна карта певної моделі завантажується у ГІС, у якій відображатимуться всі шари зі списку моделі (рис. 6).

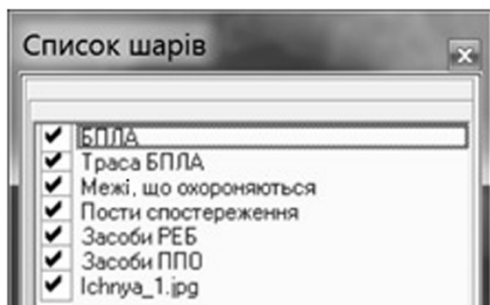


Рис. 6. Список шарів для електронної карти моделі

Шар із назвою “БПЛА” є точковим, у якому міститься об'єкт ударного БПЛА. У моделі є обмеження для цього шару – може бути створений тільки один об'єкт ударного БПЛА. Таким чином, моделювання групової атаки безпілотників потребує набагато складнішого математичного апарату і методів керування такою групою. З іншого боку, у разі виникнення певної потреби розробник може розробити і таку модель.

Шар із назвою “Траса БПЛА” містить на електронній карті лінійні об'єкти трас, уздовж

яких може виконуватися політ БПЛА. Таких трас на карті може бути багато. Як же вибрати, уздовж якої з існуючих на карті трас буде виконано політ? Для цього слід виділити на карті необхідну трасу (рис. 7).

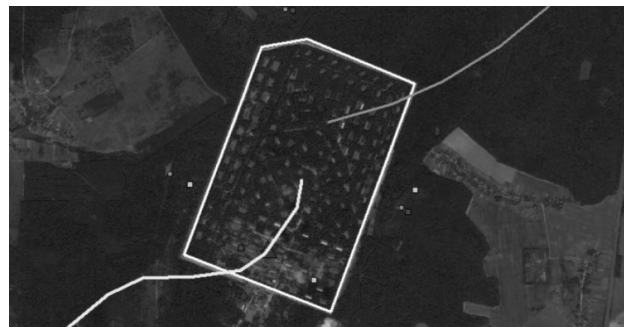


Рис. 7. Дві траси БПЛА на карті, нижня з яких є виділеною

Завдяки наявності на карті кількох трас з'являється можливість аналізу захищеності об'єкта, що охороняється під час атаки із різних напрямків та під час виконання польоту БПЛА зі змінними швидкостями і на різних висотах.

Шар із назвою “Межі, що охороняються” містить межі військового складу (у цьому разі в Ічні).

Шар “Пости спостереження” містить точкові об'єкти пунктів контролю повітряного простору навколо території, що охороняється. Важливими атрибутами об'єктів цього шару є назва і тип пункту спостереження (акустичні або візуальні засоби виявлення БПЛА у повітрі). Також у наявності атрибут із назвою “R” – максимально можлива дальність (м) виявлення повітряної цілі та атрибут із назвою “P” – загальна ймовірність виявлення повітряної цілі (у діапазоні від 0 до 1). Оскільки для різних типів пунктів спостереження, встановлених на об'єкті, що охороняється, значення “R” і “P” можуть суттєво змінюватися, у моделі є інструменти для редагування цих значень. З метою запобігання порушенням з питань державної таємниці у моделі не подано реальні параметри озброєння – засобів РЕБ і ППО та апаратури спостереження. Проте вони можуть бути введені самостійно користувачем за умов встановлення моделі на захищених комп'ютерах.

Навколо точкових об'єктів пунктів спостереження у процесі моделювання

будуються буферні зони радіусом, визначеним для кожного пункту спостереження в атрибуті "R". За умов потрапляння БПЛА всередину такої буферної зони з імовірністю, визначеною в атрибуті "P", літак стає виявленим. Після цього моделюється повідомлення засобом РЕБ, розташованим на карті, і вони одержують ознаку вмикання.

Шар із назвою "Засоби РЕБ" містить об'єкти. Для кожного з об'єктів РЕБ користувач самостійно може скоригувати значення атрибутів із назвою і типом об'єкта РЕБ, радіусом його дії (атрибут "R", м) та ймовірністю ураження літака за допомогою електромагнітного випромінювання (атрибут із назвою "P", діапазон від 0 до 1).

Шар "Засоби ППО" також містить дані про об'єкти. Для кожного з об'єктів ППО, нанесених на карту, користувач також може скоригувати значення атрибутів із назвою і типом об'єкта ППО, радіусом його зони поразення (атрибут "R") та ймовірністю поразення літака під час ведення вогню (атрибут із назвою "P"). Суттєвим спрощенням у моделі є те, що для засобів ППО немає "мертвих" зон ведення вогню та зон засліплення для пунктів спостереження, у разі входу всередину яких літак уже не може бути поразений або виявлений.

Навколо точкових об'єктів РЕБ і ППО під час виконання моделі будуються буферні зони ураження (радіусом R), у разі входу всередину яких літальний апарат може бути виведений із ладу або знищений з імовірністю P.

Останнім у списку шарів у початковому стані моделі відображується географічно прив'язаний супутниковий знімок місцевості навколо об'єкта, що охороняється.

Коли моделювання розпочинається, на електронній карті для постів спостереження, засобів РЕБ та ППО будуються буферні зони із радіусами відповідно значень атрибуту "R".

БПЛА уздовж траси, що виділена на електронній карті, рухається до цілі. Передбачається, що у процесі його руху трапляються такі події:

- БПЛА входить усередину зони спостереження одного чи кількох пунктів спостереження;
- БПЛА з певною ймовірністю стає виявленим одним чи кількома пунктами спостереження;
- БПЛА входить усередину зони дії однієї чи кількох засобів РЕБ;
- БПЛА з певною ймовірністю стає поразеним однією чи кількома засобами РЕБ (після чого модель зупиняється);
- БПЛА входить усередину зони дії однієї чи кількох систем ППО;
- БПЛА з певною ймовірністю стає поразеним однією чи кількома системами ППО (після чого модель зупиняється);
- БПЛА досягає останньої точки маршруту і здійснює удар по об'єктах, що охороняються.

Час виникнення кожної з таких подій фіксується у вікні результатів головного вікна моделі. У цьому вікні також відображується висота, на якій знаходиться БПЛА під час виникнення події (рис. 8).

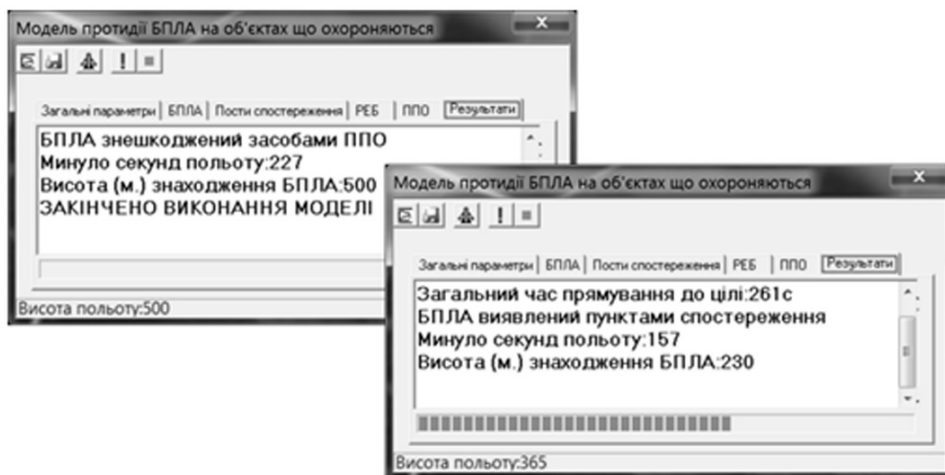


Рис. 8. Приклади повідомлень, що створюються у моделі

Створена модель за типом є імітаційною, тому це означає, що отримання коректних висновків у результаті тільки одного її запуску не має сенсу. Щоб результати моделювання набрали чинності, треба багаторазово запускати модель за однакових початкових умов (розташування на карті, радіуси і ймовірності для пунктів спостереження, засобів РЕБ та ППО, постійна траса польоту і постійні параметри БПЛА уздовж цієї траси – швидкості та висоти польоту). Якщо, наприклад, за таких постійних умов користувач у результаті десяти запусків моделі отримує сім уражень об'єкта, що охороняється, то вибрана траса БПЛА і режими його польоту стають потенційно загрозливими (рис. 9).

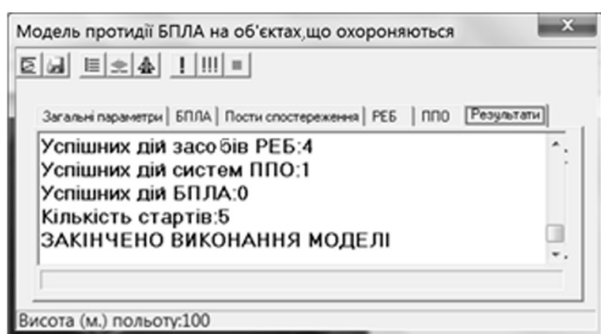


Рис. 9. Результати багаторазового моделювання

### Висновок

За певного розташування на електронній карті пунктів спостереження, засобів РЕБ та систем ППО можливо проаналізувати ступінь прикриття об'єктів, що охороняються [10]. Якщо у процесі багаторазового запуску імітаційної моделі отримано негативні результати щодо прикриття об'єктів, то слід змінити місця розташування пунктів спостереження, засобів РЕБ та систем ППО таким чином, щоб зони виявлення прикриття та поразення гарантували нейтралізацію БПЛА на потенційно загрозливому напрямку, і повторно здійснити моделювання. Також можливий підхід, який базується на аналізі застосування для охорони інших засобів РЕБ і систем ППО з більш високими ймовірностями поразення та нейтралізації БПЛА.

### Список використаних джерел

1. Дробаха, Г. А. Створення просторових

даних для електронних карт геоінформаційної системи внутрішніх військ МВС України [Текст] : монографія / Г. А. Дробаха, Л. В. Розанова, В. Е. Лісіцин. – Харків : Акад. внутр. військ МВС України, 2013. – 200 с.

2. Чуев, Ю. В. Исследование операций в военном деле [Текст] / Ю. В. Чуев. – Москва : Воен. изд-во Мин-ва обороны СССР, 1970. – 256 с.

3. Глушить “гибридов”. ВСУ научились слушать вражеские переговоры и перехватывать беспилотники [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dsnews.ua/politics/glushit-gibridov-vsua-nauchilis-slushat-vrazheskie-peregovory-12092017080000> (дата звернення : 02.01.2019). – Назва з екрана.

4. Вітчизняні комплекси РЕБ у ЗСУ для протидії беспілотникам [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mil.in.ua/vitchyznyani-kompleksy-reb-u-zsu-dlya-protydyi-bezpylotnykam/> (дата звернення : 14.01.2019). – Назва з екрана.

5. Центр імітаційного моделювання. Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sim.nuou.org.ua/index.php/ua/> (дата звернення : 14.01.2019). – Назва з екрана.

6. Центр імітаційного моделювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.hups.mil.gov.ua/struktorni-pidrozdili-universitetu/centr-imitacijnogo-modelyuvannya/> (дата звернення : 17.01.2019). – Назва з екрана.

7. На Львівщині відкрили Центр імітаційного моделювання бойових дій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://republic.com.ua/article/na-lvivshhini-vidkrili-tsentr-imitatsijnogo-modelyuvannya-bojovih-diy.html> (дата звернення : 02.01.2019). – Назва з екрана.

8. Sourdos, A. Cooperative path planning for unmanned aerial vehicles [Текст] : textbook / A. Sourdos, B. A. White, M. Shanmugavel. – West Sussex, UK : Wiley, 2011. – 190 p.

9. Tolks Andreas. Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation [Текст] / Andreas Tolks. – New Jersey : Wiley, Hoboken, 2012. – 888 p.

10. GIS in the defense and intelligence communities. Volume 2. ESRI, Redlands, California, USA, 2012. – 73 p.

Стаття надійшла до редакції 04.03.2019 р.



УДК 004.9:623.618

Г. А. Дробаха, Л. В. Сафошкина, В. Э. Лисицин, В. А. Музычук

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА И ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ  
НАНЕСЕНИЯ УДАРОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ  
ПО ОХРАНЯЕМЫМ ОБЪЕКТАМ**

*Рассмотрены особенности применения ударного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и проанализированы угрозы, которые возникают во время охраны складов вооружения и важных государственных объектов. Для электронной карты местности предложена имитационная модель, с помощью которой может быть получен статистически значимый результат в виде математического ожидания поражения (нейтрализации) БПЛА при условии многократного ее выполнения.*

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, имитационная модель, методы имитационного моделирования, беспилотные летательные аппараты.

UDC 3004.9:623.618

G. A. Drobaaha, L. V. Safoshkina, V. E. Lisitsin, V. A. Muzychuk

**SIMULATION MODEL FOR ASSESSMENT OF RISK AND POTENTIAL DIRECTIONS FOR  
UNMANNED AERIAL VEHICLES ATTACKS ON THE GUARDED OBJECTS**

*The most important features of the drone (unmanned aerial vehicle) are its survivability, noise immunity and secrecy. In this context, the threats that arise during the protection of weapons depots and important public facilities have been analyzed. The parameters of the early detection of drone attacks have been studied. The possibilities of countering the unmanned aircraft attack by means of air defense and electronic warfare systems are considered. In the geographic information system for an electronic map of the area, a simulation model is proposed. The model has an aircraft route organizer that allows analyzing possible flight directions at given altitudes and speeds on various route segments. With fixed initial conditions and repeated model execution, a statistically significant result can be obtained in the form of a mathematical probability of defeat (neutralization) of an unmanned aerial vehicle. This feature is implemented using the definition in the model of the states and events of an unmanned aerial vehicle along segments of the route. For example, a case when the device enters the zone of action of one or more air defense means. Or, an example of another situation, when the drone with a certain probability is affected by air defense units. In the model it is possible to calculate and correct the probabilities of detection, neutralization and hitting of the drones.*

*If in the process of the simulation model re-running, negative results in covering the objects are obtained, then the locations of observation points, electronic warfare and anti-aircraft defense facilities should be changed. The newly formed detection, cover and defeat zones should ensure the neutralization of the UAV in a potentially dangerous direction. In addition, on the base of results of the model, this approach can be used for the protection of other electronic warfare and air defense systems with higher likelihood of destruction and neutralization of the drones.*

**Keywords:** geoinformation technologies, simulation model, simulation methods, unmanned aerial vehicles.

**Дробаха Григорій Андрійович** – доктор військових наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України

<https://orcid.org/0000-0003-0177-4254>

**Сафюшкіна Людмила Володимирівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0001-6336-8919>

**Лісіцин Володимир Едуардович** – науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0003-0177-4254>

**Музичук Володимир Антонович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ракетно-артилерійського озброєння Національної академії Національної гвардії України  
<https://orcid.org/0000-0001-6856-1857>