

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ МОНІТОРИНГОМ СКЛАДНИХ ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ БПЛА-КАРТОГРАФІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
azimut90@ukr.net

Досліджено ефективність геоінформаційного управління, що ґрунтується на засадах географічного та картографічного вивчення території, перманентних космічних та аерофотозйомки матеріалів, даних польових рекогносцирувальних експедицій. У складних техногенних системах : критична інфраструктура промисловості, транспортне сполучення та зв'язок, інженерні системи забезпечення безпеки життєдіяльності, а також комп'ютерні оптико-волоконні мережі, національні сервери, хмари даних геодезичної інформації високоточних вимірювань, бібліотеки, банки та бази даних зберігання таємної державної та військової геоінформації. Під час війни це найбільш вразливі для ворога компоненти безпеки держави. Тому оптимальною технологією моніторингу складних техногенних систем є засоби БПЛА-картографування та геоінформаційного управління сигнатурами цифрової геоінформації для її акумулювання, зберігання та шифрування на час бойових дій.

Для забезпечення оперативної реалізації моніторингу руйнування природного та техногенного ландшафтів України розроблені спеціалізовані технологічні схеми проведення еколого-топографічної аерофотозйомки промислових майданчиків найбільш небезпечних промислових об'єктів України – атомних електростанцій. Визначені три основні композиційні маршрути планування знімального коридору та колони, що отримало назву авіа(аеро)кільватера. Складений проєкт трьох основних маршрутних ліній, азимутальних галсів, геодезичних ліній безперебійного та безперешкодного знімання поточних змін стану техногенного ландшафту. Це прийоми одночасного повороту, послідовних поворотів, заняття референтно-індикативної позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій (обстрілів). Перша методика найбільш зручна та безпечна в хмарну погоду, коли не має істотних опадів та мала видимість. Ідентифікація флоту БПЛА забезпечується GPS-навігацією із паралельним геокартографічним управлінням у ГІС-середовищі. Методика послідовних поворотних знімачів тактично виправдана на щільно забудованих територіях промислових агломерацій. Спеціальна методика квадрокоптерного зйомки розроблена на час активних обстрілів та оперативного еколого-техногенного геоінформаційного управління та картографування. Вона також застосовується винятково військовими для потреб координування цілей противника. Запропонована методика представлена демонстраційно-технічними схемами організації польотного вивчення довкілля.

Розроблений математичний апарат для забезпечення та функціонування роботи технологічних схем аерорекогносцирування об'єктів інфраструктури складних техногенних систем, наголошено на векторно-алгебраїчних функціях розрахунку швидкісно-просторових значень геолокалізації безпечного аеророзташування флоту квадрокоптерів.

У праці представлені авторські світлинні унікального висотного фундаментального репера Державної геодезичної мережі України «Хотин» із ексклюзивним лазерним відбивачем, що застосовується в спеціалізованому геоінформаційному управлінні рухом моніторингового БПЛА-флоту для потреб фіксації екологічних злочинів країни-агресорки. Прив'язка геопросторових даних до даного вихідного референтного пункту дає змогу укладання високоточних оціночних геоінформаційних карт екологічних небезпек від бойових дій на території України. *Ключові слова:* геоінформаційне управління, аерокільватер, БПЛА, складні техногенні системи, екологічний стан, довкілля.

Geoinformation management of the monitoring of complex technological systems using UAV-cartography in the conditions of the state of War. Shevchenko R.

Geoinformation management is based on the principles of geographic and cartographic study of the territory, permanent Space and aerial photography materials, data of field reconnaissance expeditions. Complex man-made systems include: critical infrastructure of industry, transportation and communication, life safety engineering systems, as well as computer fiber optic networks, national servers, data clouds of geodetic information of high precision measurements, libraries, banks and databases of secret storage state and military geoinformation. During the war, these are the most vulnerable components of the state's security to the enemy. Therefore, the optimal technology for monitoring complex man-made systems is the means of UAV-mapping and geoinformation management of digital geo-information signatures for its accumulation, storage and encryption during hostilities.

To ensure the operational implementation of monitoring the destruction of natural and man-made landscapes of Ukraine, specialized technological schemes have been developed for carrying out ecological and topographical aerial photography of industrial sites of the most dangerous industrial facilities of Ukraine – nuclear power plants. Three main composite routes for the planning of the shooting corridor and convoy, which was named the air (aero) wake, were determined. The compiled project of three main route lines, azimuthal bearings, geodetic lines for uninterrupted and unobstructed filming of current changes in the state of the man-made landscape. These are techniques of simultaneous turning, successive turning, taking a reference-indicative position in the shortest possible time during active combat operations (strikes). The first method is the most convenient and safe in cloudy weather, when there is no significant precipitation and low visibility. The visibility of the UAV fleet is provided by GPS-navigation with parallel geocartographic control in the GIS environment. The method of consecutive rotary shooting is tactically justified in densely built-up areas of industrial agglomerations. A special technique of quadcopter filming was developed for the time of active shelling and operational ecological

and technogenic geoinformation management and mapping. It is also used exclusively by the military for the needs of coordinating enemy targets. The proposed technique is presented as a demonstration of technical schemes for the organization of flight searches of the environment.

The mathematical apparatus for ensuring and functioning of technological schemes of aerial reconnaissance of infrastructure objects of complex man-made systems has been developed. Emphasis is placed on the vector-algebraic functions of calculating the speed-space values of geolocalization of the safe aerial location of the fleet of quadcopters.

The work presents the author's photos of the unique high-altitude fundamental rapper of the State Geodetic Network of Ukraine «Khotyn» with an exclusive laser reflector, which is used in the specialized geo-informational control of the movement of the monitoring UAV fleet for the needs of recording environmental crimes of state-aggressors. Linking geospatial data to this initial reference point makes it possible to compile highly accurate geoinformational maps of environmental hazards of hostilities on the territory of Ukraine. *Key words:* geoinformation management, air wake, UAV, complex man-made systems, ecological state, environment.

Постановка проблеми. Україна знаходиться у війні із найбільшою країною у світі, внаслідок її зухвалого нападу. Але незважаючи на різні фактори військово-технічного оснащення ворога, вітчизняні технології БПЛА-картографії мають перевагу у контексті визначення ступенів нанесеної шкоди країною-агресоркою навколишньому природному середовищу, несанкціонованій зміні та руйнації техногенного ландшафту, трансформації та насильницької зміні структури роботи інфраструктури складних промислових комплексів нашої держави. Важливою науковою проблемою на сьогодні є розробка технологічних схем організації дистанційного зондування та аерофотозйомки із безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та запровадження геоінформаційного управління складними техногенними системами в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру.

Актуальність дослідження. Технології геоінформаційного управління є наступним етапом еволюції експертних геоінтелектуальних систем прийняття екологічних рішень в Україні. Під час війни дистанційні методи моніторингу довкілля, в поєднанні із картогеоінформаційними системами фіксації, моніторингу та контролю, – це один з пріоритетних напрямків розвитку національної системи оборони.

БПЛА-картографування застосовується для цифрового геоінформаційного знімання у масштабному ряді 1 : 500 – 1 : 2000. Відповідна мірильна класифікація найбільш апробована для складання цифрових планів промислових майданчиків при надзвичайних ситуаціях техногенного характеру. Під час активних бойових дій відповідний картоінформаційний класифікатор найбільш технічно апробується в локальній аерофотозйомці атомних електростанцій, зруйнованих об'єктів транспортної інфраструктури, критичних модулів державної оптико-волоконної мережі, картографуванні опорних споруд Державної геодезичної мережі України тощо.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження кореспондується із Державною програмою моніторингу нанесеної шкоди навколишньому природному середовищу, біорізноманіттю та техногенному ландшафту, соціально-економічній інфраструктурі України державою, що є спон-

сором тероризму на території Східної Європи [4]. Практичною реалізацією роботи постає картографічне та геоінформаційне документування екологічних злочинів на території України, акумуляція та накопичення аерофотознімальних фотограмметричних геопросторових даних у ГІС про екоруйнування та їх наслідки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями екологічної фотограмметрії та використання даних дистанційного зондування малих ділянок займалися в різний час професори: Р. Тукай, О. Дорожинський, Р. Рудий (Україна); Anna Bentkowska-Kafel (Хорватія) та Lindsay MacDonald (США). Вітчизняними вченими для потреб цивільного геоінформаційного управління складними техногенними системами обґрунтовані методики моделювання геозображень у вигляді двовимірних локальних поліноміальних сплайнів на основі В-спланів другого-шостого порядків, які близькі до інтерполяційних у середньому [2]. Реалізовані дослідження із застосування лінійних операторів на основі спеціальних моделей для обробки цифрових даних аерофотозйомки (на прикладі вирішення задачі навігації літального апарату із застосуванням оптичного каналу [1]).

Кафедра екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій ДЕА також має низку наукових напрацювань з питань рубрикації завдань екологічного моніторингу засобами БПЛА, аеро- та космічного знімання, а також обробки даних в середовищі геоінформаційних систем (геопортал ПЗФ України: www.gis.dea.edu.ua/portal/home/) [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Вищезазначені дослідження зовсім не адаптовані для реалізації в умовах воєнного стану. Тому мета праці – висвітлити нові схеми геоінформаційного управління процесом БПЛА-картографування складних техногенних систем в умовах бойових дій, активних фаз (обстріли промислової інфраструктури) та в умовах «закритого неба».

Новизна. Розроблена технологічна схема спеціалізованого аерокільватеру та математичний розрахунок польотів флоту БПЛА для потреб геоінформаційного управління та оціночного картографування наслідків бойових дій на об'єктах критичної інфра-

структури та складних техногенних систем.

Апробація відповідної методики була проведена на полігоні підготовки пілотів малої авіації та безпілотних літальних апаратів тренувальної бази окремого батальйону спеціального призначення «Азов» в Оболонському районі м. Києва. На основі математичного апарату геоінформаційного моделювання аеролокалізації безпілотних малих повітряних суден, створена модель програми-тренажера для керування симуляційним польотом флоту БПЛА декількома пілотами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблені наукові та методичні засади геоінформаційного управління складними техногенними системами, їх дистанційний моніторинг за допомогою прийомів, засобів та методів БПЛА-картографії під час надзвичайного воєнного стану. Для української екологічної фотограмметрії та геоінформатики відповідне дослідження є необхідним для найшвидшого впровадження до системи державного екологічного моніторингу зруйнованих природних та антропогенно-промислових (техногенних) ландшафтів. Для методології військової географії та картографії, зазначені вишукування вирішують поточні проблеми математичної обробки даних фотограмметричних знімків для потреб топографо-геодезичної прив'язки об'єктів місцевості.

Виклад основного матеріалу. Найбільш раціональним методом моніторингу та пошуку зруйнованих/пошкоджених складних техногенних систем території є прийоми геоінформаційної побудови фронтальних теодолітно-пікетажних ходів із променевим прокладенням на електронній топографічній карті, що забезпечуватиме виявлення потенційно-небезпечних джерел забруднення із визначеною ймовірністю.

Укладання управлінського сегмента у середовищі геоінформаційної системи та його функціонування

ініціалізується такими способами: одночасного повороту, послідовних поворотів, заняття референтно-індикативної позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій (обстрілів).

Під час реалізації будь-якого вищезазначеного методу геоінформаційного управління та побудови цифрового пікетажного журналу прив'язки зруйнованих або пошкоджених складових інфраструктури складних техногенних систем України, обов'язковим є наявність розгорнутої мережі референтних станцій та індикативних пунктів.

Геоінформаційне управління способом одночасного повороту передбачає обробку даних синхронізованої квадрокоптерної зйомки декількох повітряних коридорів руху БПЛА у вигляді аерокільватеру. Відстань між кільватерними коридорами БПЛА повинна змінюватися, а самі коридори зйомки повинні поетапно трансформуватися в розімкнений коридор авіакільватера. Відстані між коридорами аерофотозйомки повинні бути рівними відстані між ними та симетричними один до одного, що забезпечуватиме безперервність отримання геопросторових даних про наземний техногенний ландшафт у разі виведення з ладу одного з коридору БПЛА-кільватера. Відповідна методика реалізації БПЛА-кільватерії представлена на рис. 1.

Маршрутна лінія AC одночасного повороту колони БПЛА від референтної станції спостереження B повинна бути у розрахунковій відстані від меж пошуку на показник D_1 . Це забезпечуватиме вирівнювання коридору після повороту та зміну швидкості до зазначеної в геоінформаційному пакеті управлінських даних.

Вибудовування в повітрі розімкненого галсового коридору кільватеру повинно закінчуватися до моменту геовізуалізації камери першого коптера на референтну точку A . Референтна точка B – є реперним початком галсової ротації коридору знімання

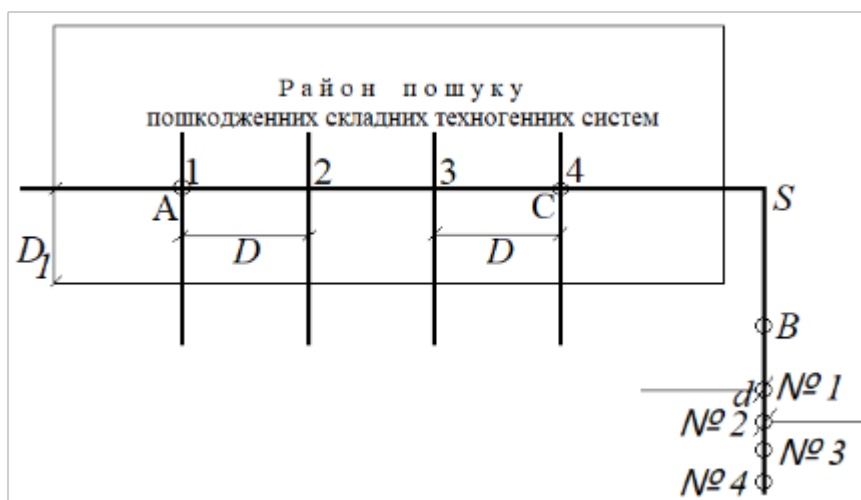


Рис. 1. Методика БПЛА-зйомки складних техногенних систем за допомогою модулів геоінформаційного управління моніторингом

БПЛА. Відстань початку формування галсового променя у повітрі визначається величиною відстані S на цифровій топографічній карті зони бойових дій та визначається за формулою:

$$S = \frac{(N-1)V_{np}(D-d)}{V_{np} - V_{лр}} \quad (1)$$

де, N – кількість літальних апаратів флоту БПЛА; V_{np} та $V_{лр}$ – швидкості прискореного руху та левітованого руху (руху зависання над об'єктом місцевості); D – відстань між квадрокоптерами в колоні руху; d – відстань між літальними апаратами у знімальному коридорі галсеу.

Розглянемо особливості практичної реалізації методики БПЛА-моніторингу складних техногенних систем на прикладі критичної ситуації з ракетними обстрілами промислового майданчику Запорізької АЕС.

Припустимо, що S прокладається в середовищі ГІС від референтної точки A по лінії азимуту курсу руху флоту БПЛА. В результаті чого визначається проєктна точка B , я якій геокартографічними прийомами будується розімкнений коридор аерокільватера. З референтної точки B до точки A флагманський БПЛА прямує прискореним рухом. Інші квадрокоптери рухаються рівномірно та левітують на однаковій один від одного відстані. З часом швидкість руху безпілотників збільшуються або прискорюється. Такі маневрування зменшують появу на цифрових знімках «мертвих зон», «шумів зображення» та спуфінгу (свідомої кібератаки на GPS-сигнал БПЛА з метою спотворення координатних значень об'єктів місцевості). Коли флагманський квадрокоптер досягає співпадіння з висковою лінією та нормаллю у точці A , весь флот БПЛА розгортають датчики сканування та пошуку в різних спектрах ДЗЗ. Для отримання повної геопросторової інформації весь флот безпілотників вирівнюється в лінію AC (рис. 1). Синхронне та асинхронне знімання забезпечуватиме отримання геоданих як за окремими частинами промайданчика, так і за стратегічними та потенційно-небезпечними спорудами АЕС.

Другий прийом геоінформаційного управління моніторингом складних техногенних систем за допомогою БПЛА-технологій – це методика аерофотозйомки способом послідовних поворотів. Принципова схема знімання змінюється наступним чином: флагманський безпілотник та всі наступні апарати повертають на курс коридору знімання в одній точці A . α – це азимутальний кут відхилення квадрокоптера від генерального курсу K_n , який орієнтовно складає 60° . Детально схема аерофотозйомки представлена на рис. 2.

В процесі БПЛА-картографічної зйомки, квадрокоптери з парними номерами повертають праворуч, а з не парними – ліворуч. Квадрокоптер, що повертатиметься першим, летить у більш віддалену

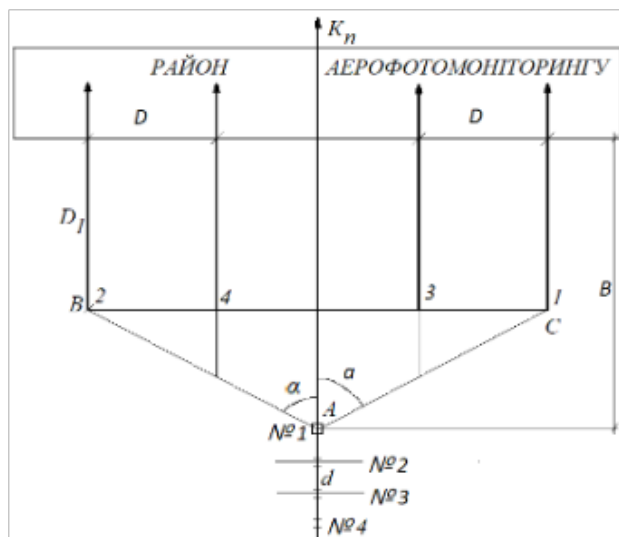


Рис. 2. Методика послідовних поворотів БПЛА-зйомки

позицію коридору аерокільватера. Коли азимут кута повороту безпілотника дорівнює $\alpha = 42^\circ$, генеральна швидкість флоту БПЛА відповідає середньому ходу, а при значенні $\alpha = 60^\circ$ – малій топографічній швидкості. Час маневрування у повітрі під час не активних бойових дій в районі локалізації інфраструктури складних техногенних систем України розраховується за наступними формулами:

$$\text{при азимутальному куті } \alpha = 42^\circ, t = \frac{1,5 \left(D' - \frac{R_y}{2} \right)}{V_{np}}; \quad (2)$$

$$\text{при азимутальному куті } \alpha = 60^\circ, t = \frac{1,15(D' - R_y)}{V_{лр}}; \quad (3)$$

де, D' – відстань квадрокоптера в коридорі аерокільватера від середньої точки колони; R_y – радіус циркуляції активної повітряної турбулентності, яка викликана рухом інших повітряних тіл руху, наприклад, ворожих квадрокоптерів або ракетами.

В процесі БПЛА-картографування місцевості, флот безпілотників залежить деякий час над потенційно-небезпечними об'єктами (у так званому «курсі розходження») для потреб зенітно-надірної зйомки. Потім, кожний окремий апарат, самостійно переходить на генеральний азимут курсу моніторингу та виконує завдання цифрового ВІМ-картографування. Швидкість переміщення безпілотника в повітрі повинна бути рівновеликою та дорівнювати генеральній швидкості у відповідності до вимог щодо побудови аерофототріангуляції, прив'язаної до Державної геодезичної мережі. В процесі аерорекогносцирування території виникає необхідність світловіддалекомірної оптично-лазерної прив'язки знімків до висотної (нівелірної) мережі з метою контролю рівнів повітряних коридорів та забезпечення безпеки польоту, а також захисту геопро-

сторової інформації, яка передається онлайн. На рис. 3 представлений аналогово-цифровий репер Державної геодезичної мережі України із вмонтованим лазерним відбивачем.

Необхідно зазначити, що, коли флот безпілотників проходить пікетажну лінію BC (рис. 2), дрони розходяться і вистроюються у повітрі у шаховому порядку. Це забезпечує правильне поздовжнє та поперечне перекриття у цифрових зображеннях, а також в їх аналогових фотокопіях, які автоматично зберігатимуться у хмарному геопорталі.

Для забезпечення технологічної правильності передачі геоінформації необхідно дотримуватися квадратичних значень зсуву (зміщення) безпілотників відносно один одного для отримання перманентної одномасштабової інформації. При $\alpha = 42^\circ$, це значення відстані дорівнюватиме 0,75 км. між БПЛА у коридорі аерокільватера, а при значенні $\alpha = 60^\circ$, показник дорівнює 0,5 км. відповідної аеровідстані від базису BC (рис. 2).

Під час польоту безпілотники вирівнюються автоматично командою геоінформаційного модуля управління рухом за азимутом флагманського квадрокоптера і підтримується на відповідному показнику до виходу із аеромоніторингової зони БПЛА-картографування техногенного ландшафту. Відповідне значення максимально критичної відстані відхилення дирекційного кута R від реперної точки A у середовищі ГІС розраховується за формулами:

$$\text{для } \alpha = 42^\circ, R = 0,56 L + D_1 \quad (4)$$

$$\text{для } \alpha = 60^\circ, R = 0,29 L + D_1 \quad (5)$$

де, $L = BC$ – ширина коридору колони БПЛА.

Дана технологія застосовується з астрономо-геодезичної практики при вивченні швидкоплинних об'єктів Глибинного Космосу вченими Південно-Європейської астрономічної обсерваторії у Чилі (Південна Америка).

У практику БПЛА-картографування складних техногенних систем пропонується впровадити гібридний варіант модуля геоінформаційного управління побудови моніторингового аерокільватера наступними геометричними повітряними побудовами БПЛА. Квадрокоптери займають проектні повітряні позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій та обстрілів, коли постає необхідним термінове фотокартографічне документування еколого-техногенних злочинів країни-агресорки у середовищі оперативних ГІС. Цей метод пропонується іменувати – способом заняття референтно-індикативної позиції. На рис. 4 представлена його технологічна схема.

Графічна побудова коридору БПЛА-знімання території техногенного ландшафту способом геоінформаційного управління проектних моніторингових аеропозицій в найкоротший термін визначається



Рис. 3. Модернізований фундаментальний висотний репер Державної геодезичної мережі України із лазерним відбивачем (м. Хотин, Чернівецька область), світлина автора, серпень 2022 р.

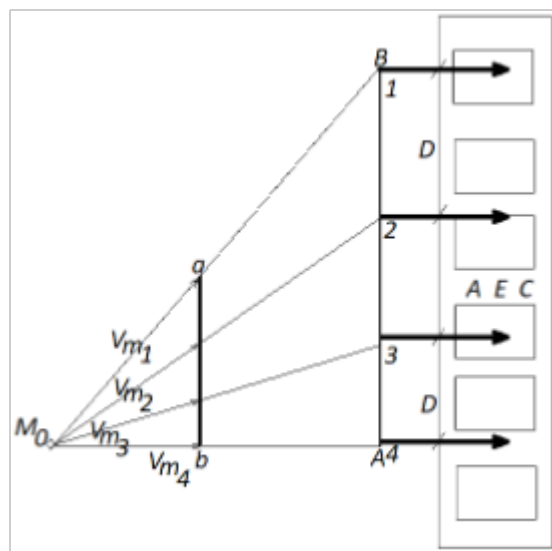


Рис. 4. Геоінформаційне управління аерокільватером БПЛА-картографування території АЕС

наступними параметрами: D – відстані між потенційно-небезпечними об'єктами промислового майданчика АЕС, дирекційна лінія AB , яка на геоінформаційній карті проводиться паралельно межі району

БПЛА-знімання. На ній у ГС наносяться за GPS-координатами позиції: 1, 2, 3, 4, які повинні зайняти безпілотники, які проводять геопросторову аерофоторозвідку та оперативне еколого-ландшафтне картографування. Призначається точка M_0 – вихідний реперний позиційний пункт. Лінії прокладення, які з'єднують цю точку з призначеними позиціями є дирекційними лініями курсу руху квадракоптерів.

Флагманський безпілотник визначає курс для заняття найбільш віддаленої аерогеолокації та переміщується із максимальною швидкістю V_{m1} . Інші геопросторові показники дронів розраховуються у ГС AeroV2. Це крейсерська швидкість та розрахунок аеропроектних позицій одночасно із флагманським квадракоптером для унеможливлення збиття сегментів флоту ворогом. Для цього, геоінформаційний модуль оперативного управління відкладає на картографічній моделі за курсом флагманського БПЛА вектор швидкості V_{m1} . Він проводиться автоматично у ГС з кінця лінії ab , яка паралельна геодезичній (дирекційній) лінії AB . Відповідний напрямок визначає курс коридорів аерокільватера для моніторингового знімання за наступними геотраверсами руху (геовекторами): V_{m2} , V_{m3} , V_{m4} . Рухаючись за дирекційними напрямками всі безпілотники займають геодезично правильні, запроєктовані у ГС, аерогеопозиції у повітрі над наземним об'єктом одночасно та реалізують знімально-картографічні дії. Після виконання покладеного завдання, флот дронів повертається на генеральний геодезичний курс, вирівнюється до геотраверсів аерокільватера та прямує на базу.

Час БПЛА-картографічної сесії розраховується за наступними формулами:

$$\text{для } \alpha = 42^\circ, t = \frac{1,5 \left(D' - d' - \frac{R_g}{2} \right)}{V_{np}} \quad (6)$$

$$\text{для } \alpha = 60^\circ, t = \frac{1,15 \left(D' - d' - R_q \right)}{V_{np}} \quad (7)$$

В технології геоінформаційного управління складними техногенними системами засобами БПЛА-картографування дозволяється зміна дирекційного кута курсу руху моніторингового аерокільватера наступними способами. Це метод заходження, спосіб двох напівповоротів, пошукового повороту, пошукового повороту із попереднім зміщенням курсу на 180° . Найбільший час для повороту літального апарату флоту БПЛА при обстрілах буде необхідний крайньому квадракоптеру № 1 (рис. 1). Цей час розраховується як сума двох відрізків часу t_1 та t_2 :

$$t_1 = \frac{s_1}{v_n}; t_2 = \frac{S_{p1}}{V_{p1}} \quad (8)$$

де, t_1 – час відльоту квадракоптеру № 1 на лінію повороту; S_{p1} – геодезична лінія шляху до повороту;

t_2 – час заняття дроном № 1 свого аеромісця у аерокільватері на азимутальному русі; S_{p1} – відносна відстань для визначення свого місця в аерокільватері, який розрахований у координатах конформної рівнокутної проєкції Гауса-Крюгера.

Загальна формула розрахунку допустимого показника зміщення від геодезичного курсу для БПЛА-картографування території АЕС розраховується за наступною формулою, яка адаптована для модулів будь-якої геоінформаційної системи управління:

$$C = 0,5L * tg \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

де, L – ширина аерокільватера, α – геодезичний азимут повороту.

Висновки. Для потреб геоінформаційного управління складними техногенними системами у воєнний час перевага надається технологіям БПЛА-картографії, дистанційним методам моніторингу довкілля, а також механіці та технології квадракоптерного знімання в особливих умовах.

Геоінформаційне управління за допомогою БПЛА включає розрахунок та картографічне визначення авіакільватера в районі проведення дистанційного моніторингу довкілля. Як правило, вихідні умови для проєктування відповідних спеціалізованих аеромаршрутів рекогносцирування місцевості визначаються наступними параметрами: геодезичний азимут, геодезична дистанція від реперних референтних та індикативних станцій, GPS-координати потенційно-небезпечних об'єктів промислового ландшафту, що потребує багатовимірною зондування та крупномасштабного картографування.

Представлені схеми-конструкції трьох основних моделей маршрутних абрисних аерокільватерів для потреб оперативного управління поточною еколого-техногенною ситуацією (на прикладі Запорізької АЕС). Запропоновані варіанти вирішення технічних завдань, а саме: визначення заданої реперної точки стояння, показники спеціального напрямку повороту БПЛА, підліт до проблемної зони місцевості із розрахунком «безпечного часу присутності». Таким чином, розроблені наукові та методичні засади геоінформаційного управління складними техногенними системами під час російсько-української війни.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблена авторська методика апробується військово-топографічним управлінням Генерального штабу ЗС України та за потреби буде перманентно оновлюватися. Перспективними напрямками є аналіз та розрахунок «стелі» БПЛА-знімання в залежності від географічної широти та довготи, природно-кліматичних умов, часу експлуатації БПЛА при веденні активних бойових дій із застосуванням зброї масового знищення.

Література

1. *Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту*: монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко та ін. Київ, 2022, 312 с.
2. *Поставка П.О., Чолишкіна О.Г.* Поліноміальні сплайни в задачі альтернативної навігації за даними аерозйомки. Монографія. Київ: МАУП, 2022. 128 с.
3. *Рубрикатор завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та географічних інформаційних систем (ГІС)*. Нормативно-методичний документ. Київ. 2018. 35 с.
4. *Стрілець Р.* Шкода довкіллю за пів року війни досягла майже 1 трильйона гривень. Київ. 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39680.html>