

**ПОШУК БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ
ПЛАВАЮЧИХ МІН МЕТОДАМИ КІНЕМАТИЧНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ**

**І.С. Афтаназів¹, Л.І. Шевчук², Р.З. Стоцько³, І.Г. Свідрак⁴,
О.І. Строган⁵, Л.Р. Струтинська⁶**

¹д.т.н., професор кафедри «Нарисної геометрії та графіки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

²д.т.н., професор кафедри «Технологія органічних речовин»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

³к.арх.н., доцент, зав. кафедри «Нарисної геометрії та графіки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

⁴к.т.н., доцент, кафедри «Нарисної геометрії та графіки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

⁵к.т.н., ст. викладач, кафедри «Нарисної геометрії та графіки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1790-6736

⁶к.е.н., доцент, кафедри «Менеджменту персоналу та адміністрування»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-0401-5475

Анотація

Розглянуто актуальне для Європи на період активного розгортання на її території воєнних протистоянь питання розмінування морських рейдів та портів. Запропоновано поєднати пошукові можливості безпілотних літальних апаратів із спроможністю до розмінування плавучих мін катерів-тралівників. Запропонована оптимальна траєкторія пошукових переміщень літальних апаратів по спіралі Архімеда. Визначено доцільну кількість літальних апаратів, що одночасно здійснюють пошуки плавучих мін.

Переміщення пошукових літальних апаратів по спіралі Архімеда рекомендовано із міркувань відсутності в такій траєкторії польотів стрімких поворотів та зворотно-поступальних рухів, які не бажані для літальних апаратів. При цьому усувається і небезпека наявності не обмежених дронами ділянок поверхні водойми чи моря.

Як один із найдієвіших варіантів знешкодження мін запропоновано їх підривання боєзарядами, скинутими із літального безпілотної літальника-ліквідатора.

Для уточнення координат розташування мін на водному плесі пропонується застосування методики кінематичного проектування. Ця методика передбачає формування трьома дронами базової площини та призначення у товщі морських глибин «картинної» площини проєкцій, на яку проєктуватиметься рухомий об'єкт проектування. У даному випадку в якості об'єкту проектування слугує розшукувана плавуча дрейфуюча міна. Застосування методики кінематичного проектування та дистанційного керування дронів для пошуку плаваючих мін дозволяє

не тільки здійснювати пошукові роботи безпосередньої участі в пошуках людей, а і підвищити продуктивність та швидкість пошукових робіт.

Для керування пошуковими переміщеннями літальних апаратів, для опрацювання наданих ним даних про виявлену міну, для уточнення координат плавучої міни запропонована відповідна блок-схема комп'ютерної програми.

Встановлено, що при швидкостях просторових переміщень пошукових літальних апаратів 5÷5,5 м/с, використовуючи запропоновану схему пошуку, можна щогодинно обстежувати до 6 квадратних кілометрів акваторії моря. При цьому можна зекономити до 20 літрів вартісного палива завдяки зменшенню переміщень катера-тралівника.

Ключові слова: плавуча міна, розмінування, катер-тралівник, літальний апарат, безпілотник, дрон, координати, пошук.

SEARCH OF FLOATING MINES BY UNMANNED AERIAL VEHICLES USING KINEMATIC PROJECTION METHODS

I.S.Aftanaziv¹, L.I. Shevchuk², R.Z. Stotsko³, I.H. Svidrak⁴,
O.I. Strohan⁵, L.R.Strutynska⁶

¹Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
“Geometry and Engineering Graphics”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

²Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Organic Products Technology”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-3484-7966

³PhD of Arch. Sciences, chief Professor of the Department
“Geometry and Engineering Graphics”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,

⁴PhD of Technical Sciences, Professor of the Department
“Geometry and Engineering Graphics”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,

⁵PhD of Technical Sciences, Assistant of the Department
“Geometry and Engineering Graphics”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1790-6736

⁶PhD, Associate Professor of the Department
“Human Resource Management and Administration”
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-0401-5475

Summary

The issue of demining sea raids and ports, which is relevant for Europe during the period of active deployment of military confrontations on its territory, is considered. It is proposed to combine the search capabilities of unmanned aerial vehicles with the ability to clear floating mines of trawler boats. The optimal trajectory of search movements of aircraft along the Archimedean spiral is proposed. An appropriate number of aircraft that search for floating mines at the same time has been determined.

The movement of search aircraft along the Archimedean spiral is recommended due to the absence of sharp turns and back-and-forth movements in such a flight path, which

are undesirable for aircraft. At the same time, the danger of the presence of areas of the surface of the water body or sea that are not limited by drones is also eliminated.

As one of the most effective options for the disposal of mines, their detonation with warheads dropped from an aerial liquidator drone has been proposed.

In order to clarify the coordinates of the location of mines on the water pool, it is proposed to use the kinematic design method. This technique involves the formation of a base plane by three drones and the designation of a "picture" projection plane in the depth of the sea, on which the moving projecting object will be projected. In this case, the wanted floating drifting mine serves as the design object. The use of kinematic design and remote control of drones to search for floating mines allows not only to carry out search operations with direct participation in the search for people, but also to increase the productivity and speed of search operations.

To control the search movements of aircraft, to process the data provided by them about the detected mine, to specify the coordinates of the floating mine, a corresponding block diagram of the computer program is proposed.

It was established that at speeds of spatial movements of search aircraft of $5\div 5.5$ m/s, using the proposed search scheme, it is possible to survey up to 6 square kilometers of sea water area every hour. At the same time, it is possible to save up to 20 liters of valuable fuel due to the reduction of movements of the trawler boat.

Key words: floating mine, mine clearance, trawler boat, aircraft, drone, drone, coordinates, search.

Слід відзначити, що впродовж останніх десятиліть, завдяки використанню на етапах проектно-розрахункових робіт унікальних можливостей сучасної обчислювальної комп'ютерної техніки, здійснено великий і відчутний крок у вдосконаленні військової техніки. І основна тенденція, що прослідковується практично у всіх напрямках та сферах військової техніки та озброєння, полягає у зведенні до мінімуму участі людини в процесах налаштування та використання озброєння.

Не обминула ця особливість новітніх озброєнь і військово-морські сили розвинутих країн світу. Зокрема і в галузі мінування та розмінування морських шляхів та акваторій портів. Новітні матеріали та вибухові речовини, сучасні можливості сприйняття, опрацювання та реагування на електромагнітні, акустичні та шумові збурення морської поверхні кораблями чи підводними човнами, перетворюють мінування на грізну зброю активного реагування. Так сучасні донні міни можуть у потрібні моменти часу за дистанційною командою спливати на поверхню (модель MN103-донна неконтактна міна) чи торпедувати (модель Mark 60 Caprot) кораблі противника.

Звичайно із вдосконаленням мінного озброєння вдосконалюються і технічні засоби розмінування як окремих мін, так і мінних полів. Тут безпеці людей, що знешкоджують міни, приділено особливу увагу. І як найефективніший метод захисту особового складу визнається дистанційне керування роботизованими технічними засобами розмінування. Тому було розроблено і впроваджено у практичне застосування дистанційно керовані безпілотні підводні розмінувальні пристрої (проект для ВМС США Proteus). Широко використовують і так звані торпедо-роботи «кемікадзе», що виявивши глибинну чи дону міну зближуються

з нею і вибухають. Вибух торпеди-робота «кемікадзе» завдяки детонації або механічному uszkodженню провокує вибух глибинної міни. Тим самим нейтралізується небезпека підриву цією міною кораблів чи інших плавучих засобів.

Звичайно і надалі широко застосовують для розмінування і протравлювання поверхні моря спеціальні катери-тралівники. Історія використання катерів-тралівників для знешкодження плаваючих та якірних мін сягає майже століття. Започаткування їх використання практично співпадає із періодом початку активного мінування морських водойм. Однак на теперішній час навіть такий давній метод розмінування зазнає модернізації та вдосконалення. Ці вдосконалення полягають у оснащенні тралівників безпілотними плавучими та літальними апаратами для пошуків мін та зарядами із дистанційним керуванням для їх підривання.

Поряд з тим вдосконалюються і інші методи пошуків. Яскравим прикладом успішного використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для пошуків мін є розроблена українським Державним науково-дослідним інститутом випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки методика пошуку підвішеними до цих апаратів магнітометричними давачами. Літальний апарат із підвішеними на тросах магнітометричними давачами на висоті 10-15 метрів від поверхні землі здійснює польоти по заданій траєкторії. Сигнал від давача про виявлену міну передається на командний пункт, де опрацьовується з метою визначення точних координат виявлених мін. Забезпечувана точність визначення координат мін калібру 82 та 120 міліметрів тут сягає розбіжності лише у декілька сантиметрів [1]. Даний метод пошуку мін магнітометричними давачами, що підвішені до БПЛА, міг би з успіхом використовуватися і для пошуку плавучих на водній поверхні мін. Однак такі дослідження ще не проводились.

Слід відзначити, що на відміну від якірних та донних мін, встановлення яких неодмінно супроводжується фіксацією місць закріплення на відповідних картах мінування тої чи іншої морської акваторії, розміщення плавучих мін не фіксується і постійно видозмінюється вітрами та течіями, а також хвилювими збуреннями морської поверхні. Більше того, навіть виявлена але вчасно не знешкоджена плавуча міна зберігає небезпеку, оскільки не фіксується на місці виявлення і продовжує переміщатися у воді.

Певну небезпеку плавучі міни становлять не тільки для кораблів а і для цивільного населення на морських побережжях. Прибиті хвилями до мілин берегової лінії ці міни можуть вибухати навіть від ударного контакту із морським дном берегової мілини. І їх вибухи на берегових мілинах загрожують життю та здоров'ю працюючих чи відпочиваючих на побережжі людей. Саме така прикра подія, що забрала життя одної людини і важко травмувала іншу трапилася на морському березі поблизу міста Одеса (Україна) в червні 2022 року. Зірвану з якоря міну, що була встановлена російськими військовими для блокування портів Одеси, відірвало від якоря і прибило хвилями до берега морського пляжу. І саме її вибух став причиною смерті та тяжких травм людей. Схожа ситуація, що супроводжувалась смертю людини, тут повторилась і у липні місяці цього ж року.

То ж плавучі міни не лише створюють перешкоди та небезпеку для судноплавства, а і загрожують життю і здоров'ю людей. А згідно даних пресслужби Військово-морських сил України лише за чотири перші місяці російської агресії

військами Російської Федерації у води Чорного моря було встановлено біля 400 мін різноманітних типів.

Важливість спроможності забезпечення стабільності роботи морських та річкових портів наглядно проілюстрували воєнні події 2022 року на території України. Заміновані військами російського агресора порти України в акваторії Чорного моря заблокували можливість поставок Україною врожаю зернових культур на світові ринки. Через те, що Україна була і залишається серед основних постачальників зерна на ринки африканських країн, тривале блокування українських морських портів привело до стрімкого нарощування вартості зерна на світових ринках. Більше того, цілком реально постає небезпека голоду в економічно відсталіх африканських країнах, для яких саме Україна є основним постачальником. Закономірно, що це провокуватиме соціальні заворушення через небезпеку можливого голодування населення.

Ця ситуація зайвий раз підкреслює вагомість забезпечення стабільності роботи морських портів, а відповідно, і пов'язаної з цим проблеми швидкого та гарантованого ефективного розмінування морських корабельних рейдів та акваторій портів.

Тому актуальною залишається проблема вдосконалення методів пошуку та знешкодження морських мін усіх типів та різновидів, у тому числі і плавучих мін.

Огляд попередніх досліджень

Не зважаючи на появу доволі оригінальних методів та обладнання для пошуку та розмінування мін все ще найбільш вживаною залишається методика розмінування мінних полів самохідними тралами. Переважно це спеціально обладнані катери на зразок шведського SAM-3 чи американського SAM-05, котрі адаптовані до сприйняття і протистояння вибухам мін [1]. Доволі часто теперішні катери-тралівники оснащують різноманітними імітаторами вібрацій, шумів та збурювачами магнітних полів для імітації ними рухомих на рейді кораблів та провокацій мінних давачів на вибух. Теперішні катери-тралівники це переважно розбірні понтонні катери з швидкістю руху 6–8 вузлів, які легко перетранспортовуються літаками на необхідні ділянки та участки моря.

Певною альтернативою самохідних тралів можуть вважатися так звані вертолїтні трали [2]. Ці трали теж облаштовують генераторами магнітних полів та підрізним устаткуванням для знешкодження якірних мін. Типовий представник таких тралів – це трал на підводних крилах Harris МК-105.

Якщо йдеться про потребу у розмінуванні значних площ морської акваторії то перевагу, звичайно, віддають великотонажним спеціалізованим кораблям-тралівникам. По суті це велика універсальна платформа для базування, транспортування надводних, повітряних та безпілотних механізмів для виявлення усіх без винятку типів мін і їх знешкодження. Водовитіснення такого корабля-тралівника сягає до 3500 тонн, швидкість 15-20 вузлів. В процесі розмінування такий корабель розвідує та очищає 10-20 квадратних кілометрів за годину і до 500 км² щодоби [1].

Інколи для імітації шумів та полів корабля застосовують систему із з'єднаних між собою понтонів, на яких встановлені генератори магнітного, акустичного та електромагнітного полів. Літальний апарат, наприклад гелікоптер чи потужний дрон транспортують ці понтони на поверхні моря, імітуючи корабель

та провокуючи вибух міни [1]. Такі понтонні системи виготовляє виробник Thales Australia.

Для пошуку плавучих мін у наближених до берега ділянок морів доволі часто застосовують і гелікоптери чи повітряні безпілотники із лазерними системами сканування приповерхневих вод [1]. Прикладом використання такої схеми пошуку мін є застосована ВМС США база для лазерного сканування моделі Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout.

Відносно новим кроком у дослідженні методик пошуку плавучих мін є застосування до пошукових робіт безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Загалом для розвідувально-пошукових робіт БПЛА власне кажучи і були створені. Однак для пошуку морських мін автори пропонують їх застосування вперше.

Свою ефективність як диверсійно-розвідувальне озброєння БПЛА особливо переконливо продемонстрували на полях воєнних дій російсько-української війни у 2022 році. Практично безшумні та невидимі для ворожих радарів ці літальні апарати стали незамінними для збору корисної розвідувальної інформації про дислокацію техніки та особового складу противника [3]. Оснащені сучасною відеоапаратурою із великою роздільною здатністю ці літаючі розвідники стали невід'ємною складовою практично кожного навіть незначного за чисельністю військового підрозділу [4].

А оснащення так званих «повітряних безпілотників» більш потужними двигунами та пристроями для транспортування, утримування та дистанційно керованого скидання вибухових боєзарядів взагалі перетворило їх на грізну сучасну зброю [5]. Власне кажучи, саме спроможність не лише виявляти малогабаритні предмети на земній та водній поверхні, а і бомбардувати і дистанційно підривати їх боєзарядами і стало першопричиною нашої рекомендації щодо застосування БПЛА до пошуку та знешкодження плавучих мін.

Слід відзначити, що автори статті мають певний позитивний досвід у застосуванні БПЛА для пошуку рухомих об'єктів засобами кінематичного проектування. Зокрема, у наших наукових дослідженнях описані схеми використання БПЛА у сільському та лісовому господарствах [6; 7], в кінематографії [8] та аерофотогеодезії [9], у військовій справі для виявлення координат ворожих диверсійно-розвідувальних безпілотних літальних апаратів [10; 11; 12]. Переважна більшість цих досліджень базується на органічному поєднанні розвідувальних можливостей сучасної малогабаритної відеоапаратури, якою оснащені літаючі безпілотники та дрони, із спроможністю високоточних розрахунків координат просторових переміщень об'єктів обчислювальною технікою на підставі даних кінематичного проектування.

Опирались ці дослідження на досвід працівників Національного університету «Львівська політехніка» (Україна) в галузі аерофотогеодезії у застосуванні БПЛА для визначення координат місцевості при складанні топографічних карт [13; 14].

Стосовно використовуваного нами методу кінематичного проектування відзначимо, що цей метод проектування дозволяє визначати миттєві координати та траєкторії просторових переміщень рухомих об'єктів. При цьому при наявності руху всіх без винятку засобів і складових проектування, а саме об'єктів проектування, «спостерігачів» та координатної площини із проектуючими променями.

При цьому усі ці об'єкти проектування або частина з них можуть знаходитися у прискореному або рівномірному русі, а рух кожного із складових проектування не залежний від руху інших його складових [8; 10; 15].

Практичне застосування теоретичних основ кінематичного проектування відкриває нові можливості у відображенні рухомих об'єктів простору, в питаннях пошуку миттєвих координат їх розташування, а за потреби – і у визначенні характеристик та складових руху [10; 11; 15].

Основною метою даного дослідження була розробка методу пошуку плавучих мін для розмінування морських та річкових водних акваторій.

Для вирішення даної мети було сформульовано наступні завдання:

- розробити методику визначення просторових координат розташованого на водній поверхні твердого тіла засобами кінематичного проектування;
- визначити оптимальну кількість безпілотних літальних апаратів для визначення координат плавучої міни;
- дослідження і розробка оптимальної траєкторії просторових переміщень БПЛА при пошуку ними плавучих мін;
- створення алгоритму програмного забезпечення для розробки програми узгодження даних БПЛА при визначенні ними місця розташування плавучої міни.

Виклад основного матеріалу

Проведений аналіз застосування різноманітних засобів для пошуку та знешкодження плавучих мін переконливо підводить до думки та переконання, що найоптимальнішим буде органічне поєднання переваг застосування морських плавучих засобів та літаючої техніки [2; 5]. У випадку плавучих мін це повинно б бути поєднання одночасного застосування катерів-тралівників із безпілотними літальними апаратами (БПЛА). На катері-тралівнику, наприклад, моделі ARCIS Atlas Elektronik, повинні бути облаштовані командний пункт із засобами керування пошуковими переміщеннями літальних апаратів та програмним забезпеченням розрахунків координат виявлених мін, радіолокаційна станція (РЛС) для відслідковування БПЛА, площадка для запуску та посадки літальних апаратів і звичайно спорядження для дистанційного знешкодження виявлених мін [1; 3; 16].

У якості пошукових літальних апаратів доречно скористатися дронами чи квадрокоптерами середніх типорозмірів, що спроможні транспортувати на собі переносне радіолокаційне обладнання масою до 40кг із ефективним радіусом дії 200–250 м та обладнанням візуалізації і спостереження за поверхнею моря із високою роздільною здатністю та радіусом дії не менше 100 м [9; 13]. На випадок потреби підриву виявлених мін ці літальні апарати повинні бути оснащені дистанційно керованими тримачами боєвих зарядів. Таким вимогам відповідають доволі багато різновидів безпілотників, наприклад, моделей “Predator-B” (фірма “General Atomic Aeronautical Systems Inc”, США), “Grand Duck” (“Dasso”, Франція) тощо. Та найефективнішим, на нашу думку, було б використання для ліквідації виявлених мін малогабаритного дрона-ліквідатора моделі Switchblade 600. Його перевагою, окрім незначних маси та розмірів, є наявність GPS-навігації і здатність пошуку та розпізнавання наперед заданих об'єктів. Вагомою є і здатність цього дрона-кемікадзе до 30 хвилин безперервного польоту із крейсерською швидкістю 112 км/год.

Якщо пошук плаваючих мін здійснюють у прибереговій акваторії моря, віддаленій від берега на декілька кілометрів, то командний пункт керування пошуковою роботою дронів облаштовують, переважно на березі. Якщо ж пошукові маневри здійснюють у відкритому морі на ділянках, що віддалені від берегової смуги на десятки кілометрів, то для базування, запуску, керівництва роботою та траєкторіями рухів дронів доцільно використовувати належним чином облаштований катер-тралівник. Враховуючи, що плавучі міни під дією вітрів, збурення морської поверхні, течій та водоворотів можуть переміщатися по поверхні моря, виявлені дронами координатами місця розташування цих мін не є сталими і можуть постійно змінюватися. Тому виявлені дронами плавучі міни доцільно постійно відстежувати, а ще краще, забезпечивши безпеку для морських плавзасобів та людей, знищувати. Для цього можуть бути використаними ті ж таки пошукові дрони, що замість пошукової апаратури оснащені підвісними боєзарядами [4; 10].

Звичайно для пошуків плавучих мін із застосуванням безпілотних літальних апаратів необхідні, окрім належних погодних умов, зокрема, сили вітру, і певні розрахункові траєкторії їх просторових переміщень. Більше того виявлені у попередні пошукові дні плавучі міни під дією вітрів і течій неодмінно змінять своє місце розташування і їх доведеться розшукувати заново. Тому, організовуючи пошукові роботи із розмінування певних акваторій моря доречно таким чином організувати пошукові роботи, щоб максимально широко охопити площі пошукових ділянок, а також забезпечити знешкодження виявлених боєзарядів. Тому тут важливе значення мають, поряд із потужністю пошукової апаратури, і траєкторії пошукових переміщень використовуваних для пошуків технічних засобів. Часто при цьому збільшують кількість одночасно використовуваних технічних пошукових засобів, узгоджуючи поміж ними режими пошукової роботи та траєкторій їх просторових переміщень.

Певним чином пошуки «плавучих» мін значною мірою схожі на переміщення риболовецьких суден при пошуках ними косяків риби, придатних для морського промислу.

Розмінування морської акваторії від плавучих мін із використанням безпілотних апаратів здійснюють у наступній послідовності. Катер-тралівник 1 із завантаженими на нього чотирма БПЛА 2 типу «дрон», що оснащені вище відзначеним пошуковим обладнанням, а також вибуховими зарядами для підриву виявлених мін, заходить в центральну частину виділеної йому для пошуків мін ділянки акваторій моря. Тут він стає на якір, якщо це дозволяє глибина моря, або повільно дрейфує, час від часу відкореговуючи своє місце розташування поблизу центру пошукової ділянки. В небо по чергово запускають три дрони 2 із радіолокаційною пошуковою апаратурою та спостережувальними відеокамерами. Командний пункт керування пошуковими роботами за допомогою відповідних комп'ютерних програм керування пошуковими переміщеннями на першому етапі вилаштовує трійку дронів в одну лінію на віддалі, наприклад «а» один від одного та від командного пункту на катері-тралівнику 1. Віддаль «а» між дронами призначають рівною діаметру d півсфери ефективної дії їх пошукової радіолокаційної апаратури, тобто $a = d = 2r$, де r – радіус ефективного пошуку дрона (рис. 1).

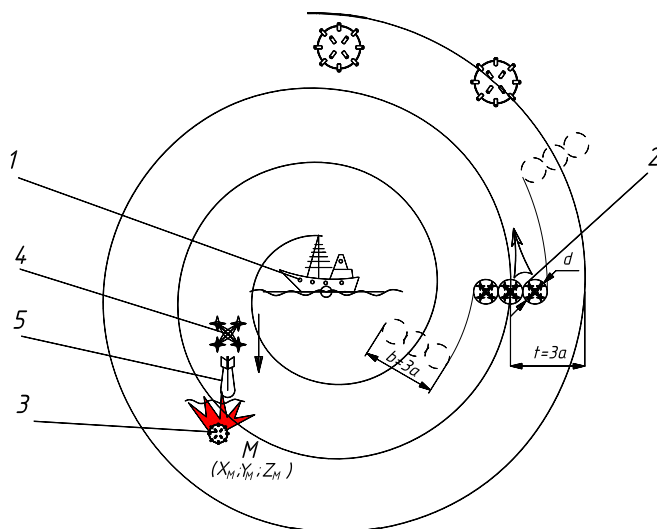


Рис. 1. Траєкторія просторових переміщень пошукових дронів по спіралі Архімеда

Вилаштуванім у одну лінію пошуковим дронам 2 подають команду на просторові переміщення цієї трійки дронів по спіралі Архімеда, крок якої рівний

$$b = 3a = 3d = 6r;$$

де $b = 3a$ – ширина ділянки одночасного охоплення дронами пошукової зони, d та r – відповідно діаметр та радіус півсфери дії пошукової радіолокаційної апаратури.

Центр спіралі Архімеда, по якій переміщуються в повітрі пошукові дрони 2, умовно облаштований на катері-тралівнику 1, а висота польоту не перевищує радіуса r ефективної дії пошукової апаратури. При вище вказаних параметрах пошукової апаратури як оптимальні можна було б рекомендувати наступні параметри траєкторії лету пошукових дронів:

- висота лету – 50 м;
- віддаль між дронами – a – 100 м;
- $t = 6r = 6 \cdot 50 = 300$ м – крок спіралі Архімеда просторового переміщення дронів;
- $r = 50$ м – радіус півсфери ефективного пошуку радіолокаційної апаратури;
- $b = 3a = 3 \cdot 100 = 300$ м – ширина смуги ділянки пошуку, охопленої трьома дронами.

Траєкторія руху пошукових дронів по спіралі Архімеда обрано із двох міркувань:

- дана траєкторія не допускає наявності необстежених ділянок акваторії моря;
- ця плавна траєкторія, на відміну від інших можливих, не передбачає зворотних рухів та стрімких поворотів, що не є бажаним для літальних апаратів.

Якщо прийняти за середню допустиму швидкість лету пошукових дронів швидкість $v = 5 - 5,5$ м/с = 18 – 20 км/год., то за годину часу цими трьома пошуковими дронами при просторових їх переміщеннях по спіралі Архімеда буде обстежено приблизно шість квадратних кілометрів акваторії моря.

У випадку виявлення будь-яким із пошукових дронів плаваючої міни 3 облітними територіями по спіралі Архімеда призупиняють. По відповідній команді із командного пункту катера-тралівника 1 дрони 2 «зависають» над виявленою міною, розташувались над нею рівностороннім трикутником, геометричний центр якого співпадає із точкою розміщення міни [6; 14].

Після цього вмикають одночасно на трьох дронах 2 спостережну ідентифікаційну апаратуру для ідентифікації виявленого дронами на морській поверхні предмету. Саме спостереження та фотографії плаваючого предмету з трьох зміщених на 120° одна від одної точок (дронів) надають можливість побудови на екрані монітора комп'ютера командного пункту твердотільної моделі даного досліджуваного об'єкта. Тому в даній схемі пошуку мін і використовують одночасно саме три пошукових дрони.

Якщо виявлений на поверхні моря плаваючий предмет все ж таки виявиться плаваючою міною 3, приступають до її знешкодження. Для цього використовують дрон-ліквідатор 4 із дистанційно керованим боєзарядом 5 (рис. 1).

Для цього, перш за все, використовуючи відповідну програму, уточнюють координати розташування даної міни 3. Дана програма передбачає запровадження уявної системи ортогональних просторових Декартових координат із розташуванням початку відліку координат на місці катера-тралівника 1 (рис. 2). Нумерація позицій на цьому та наступних рисунках співпадає із номерами позицій на рис. 1.

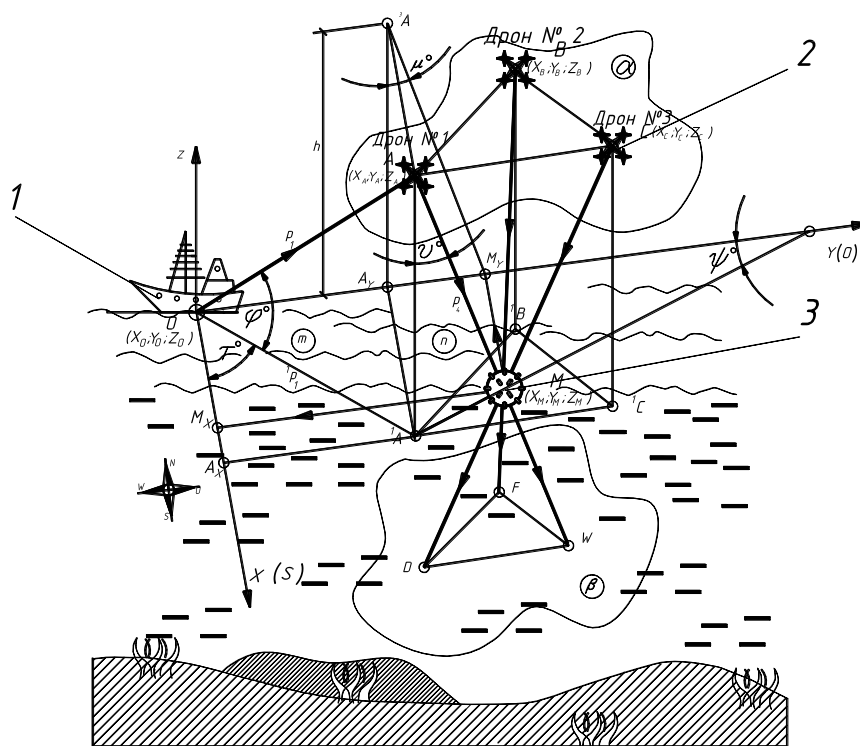


Рис. 2 Схема розрахунку координат виявленої пошуковими дронами плаваючої міни

Вісь x уявно спрямовують в напрямку однієї із геодезичних сторін світу досліджуваної ділянки пошуку мін, наприклад, на південь. Перпендикулярну їй вісь y – в напрямку іншої сторони світу, наприклад, на схід. Вісь z спрямовують вгору перпендикулярно двом іншим осям. Утворена двома взаємно перпендикулярними осями x та y горизонтальна площина проєкцій цієї системи координат співпадає із поверхнею моря. Напрямки осей призначають таким чином, щоб виявлена міна 3 та пошукові дрони 2 розташувались в межах першого октанту окресленого площинами проєкцій простору (рис. 2) [10].

Встановленою на катері-тралівнику 1 радіолокаційною станцією (РЛС) визначають координати кожного із розміщених над міною дронів 2 у запровадженій системі. До цих координат належить віддаль l від РЛС до кожного із трьох пошукових дронів, що на даний період часу розміщені над виявленою міною 3, а також кути нахилу уявних проєктуючих променів, що проходять від РЛС до кожного із дронів. На рис. 2 ці побудови позначено наступним чином:

- пошукові дрони № 1-А, № 2-В та № 3-С, а їх проєкції на площину поверхні моря відповідно 1A , 1B , 1C ;
- віддаль від РЛС до пошукових дронів $l_1 = OA$; $l_2 = OB$; $l_3 = OC$.;
- проєктуючі промені, що проходять від РЛС через пошукові дрони – p_1, p_2, p_3 . Їх проєкції на площину поверхні моря відповідно ${}^1p_1, {}^1p_2, {}^1p_3$;
- кути між проєктуючими променями та їх проєкціями на площину поверхні моря відповідно:

$$\varphi^\circ = p_1 \wedge {}^1p_1 = OA \wedge O^1A \text{ (рис. 2);}$$

$$\gamma^\circ = p_2 \wedge {}^1p_2 = OB \wedge O^1B \text{ (рис. 3);}$$

$$\delta^\circ = p_3 \wedge {}^1p_3 = OC \wedge O^1C \text{ (рис. 4).}$$

Подальші розрахунки координат розташування виявленої міни здійснюють використовуючи відповідне програмне забезпечення за наступним алгоритмом [6; 10].

Спершу із відповідних трикутників ΔAO^1A , ΔBO^1B , та ΔCO^1C визначають висоту розташування дронів 2 над поверхнею моря $h = l_1 \sin \varphi$, та вирівнюють її для всіх трьох дронів. Позначають утворену трьома дронами площину як базову площину $\alpha(A, B, C)$. Ця базова площина α паралельна поверхні моря і віддалена від нього на висоту $h = |\alpha \wedge {}^1\Pi|$.

У подальшому програмою розрахунку передбачено, що із переносних радіолокаційних станцій кожного із дронів 2 уявно проведено проєктуючі промені, що проходять безпосередньо через сам дрон та виявлену міну 3, тобто $p_4 = AM$, $p_5 = BM$, та $p_6 = CM$. Фіксують кути нахилу цих проєктуючих променів до відповідних перпендикулярів з точок A , B та C на поверхню площини моря, тобто

$$\nu^\circ = p_4 \wedge A^1A = AM \wedge A^1A;$$

$$\xi^\circ = p_5 \wedge B^1B = BM \wedge B^1B;$$

$$\epsilon^\circ = p_6 \wedge C^1C = CM \wedge C^1C.$$

Нижче поверхні моря на глибині $h_1 = \frac{h}{2}$ уявно облаштовують програмою розрахунків ще одну паралельну поверхні моря ${}^1\Pi(x, y)$ та базовій площині $\alpha(A, B, C)$ так звану «картинну» площину β . Продовжують уявні проєктуючі промені p_4 ,

p_5 та p_6 , що проходять від пошукових дронів 2 через виявлену міну M , до перетину із «картинною» площиною β і розраховують координати їх точок перетину, а саме

$$W(x_W, y_W, z_W) = p_4 \cap \beta / {}^1\Pi;$$

$$F(x_F, y_F, z_F) = p_5 \cap \beta / {}^1\Pi;$$

$$D(x_D, y_D, z_D) = p_6 \cap \beta / {}^1\Pi.$$

При цьому для просторової прив'язки проектуючих променів до обраної системи координат додатково із визначених радарми дронів 2 азимутів проектуючих променів визначають кут їх нахилу до будь-якої із вертикальних площин проєкцій обраної системи координат. Наприклад, профільної ${}^3\Pi(y, z)$, утвореної перетином осей y та z . Тоді

$$\mu^\circ = p_4 \wedge {}^3\Pi; \lambda^\circ = p_5 \wedge {}^3\Pi; \chi^\circ = p_6 \wedge {}^3\Pi$$

Дві утворені проектуючими променями p_4, p_5 та p_6 та паралельними між собою основами піраміди $MABC$ та $MWFD$ подібні між собою. Їх площини основ

$\alpha(A, B, C)$ та $\beta(W, F, D)$ паралельні між собою. Ці піраміди мають спільну вершину в точці M , де розташована виявлена міна. Кути їх відповідних граней при вершині M рівні між собою, а бокові ребра одної є продовженням ребер іншої. Володіючи координатами точок A, B та C при основі верхньої піраміди $ABCM$, як даними вимірювання РЛС катера-тралівника 1, та координатами точок W, F та D при основі нижньої піраміди, як даними вимірювання радарів дронів 2, можна розрахувати шукані координати спільної вершини цих пірамід, тобто точки M як точки, у якій на даний момент розміщена виявлена плавуча міна 3.

Уявно спрямований із РЛС катера-тралівника на дрон № 1 (точка A на рис. 2) проектуючий промінь p_1 та його проєкція 1p_1 на горизонтальну площину проєкцій ${}^1\Pi$, а також лінія зв'язку між точками A та 1A формують задану трикутником ΔAO^1A площину m (ΔAO^1A), яка перпендикулярна ${}^1\Pi$, тобто m (ΔAO^1A) \perp ${}^1\Pi(x, y)$. За азимутом РЛС по проектуючому променю p_1 встановлюють кут його нахилу до ${}^1\Pi$, тобто $\phi^\circ = OA \wedge O^1A = p_1 \wedge {}^1p_1$ і уточнюють висоту розміщення дрона № 1 (точка A) над поверхнею моря

$$z_A = h = A^1A = OA \cdot \sin \phi = l_1 \cdot \sin \phi,$$

де $l_1 = OA$ – визначена РЛС віддаль від катера-тралівника до дрона № 1.

Довжина проєкцій 1p_1 проектуючого променя p_1 на горизонтальній площині проєкцій становить

$${}^1p_1 = O^1A = OA \cdot \cos \phi = l_1 \cdot \cos \phi$$

Тоді координати точок A та 1A визначають із прямокутних трикутників Δ^1AOA_x та Δ^1AOA_y

$$x_A = OA_x = O^1A \cdot \cos \tau = l_1 \cdot \cos \phi \cdot \cos \tau = h \frac{\cos \tau}{\operatorname{tg} \phi};$$

$$y_A = A_x^1A = OA_y = {}^1p_1 \sin \tau = O^1A \cdot \sin \tau = l_1 \cdot \cos \phi \cdot \sin \tau = h \frac{\sin \tau}{\operatorname{tg} \phi}.$$

Тут τ° – кут між ${}^1p_1=O^1A$ та віссю x .

Таким чином визначено усі координати розташування дрона № 1 (точка А), дрона № 2 (точка В) та дрона № 3 (точка С) у запровадженій системі координат, а саме

$$\begin{aligned}x_A &= l_1 \cdot \cos \phi \cdot \cos \tau; x_B = l_2 \cdot \cos \gamma \cdot \cos k; x_C = l_3 \cdot \cos \delta \cdot \cos \eta; \\y_A &= l_1 \cdot \cos \phi \cdot \sin \tau; y_B = l_2 \cdot \cos \gamma \cdot \cos k; y_C = l_3 \cdot \cos \delta \cdot \cos \eta; \\z_A &= l_1 \cdot \sin \phi; z_B = l_2 \cdot \sin \gamma; z_C = l_3 \cdot \sin \delta;\end{aligned}\quad (1)$$

Тут k° – кут між проекцією проєктуючого променя 1p_5 та віссю x (рис. 3), а кут η – це кут між проекцією проєктуючого променя 1p_6 та віссю x (рис.4).

Із розташованого в точці А дрона № 1 його переносним радаром уявно спрямовують проєктуючий промінь p_4 на виявлену міну 3 в точці М, що лежить на поверхні моря. У нашому випадку в прийнятій системі координат точка М, тобто виявлена міна, розміщена на горизонтальній площині проєкцій ${}^1\Pi(x, y)$. Аналогічно попередньому випадку розглянуто проєктуючий промінь $p_4=AM$ (рис. 2). Його проєкція на ${}^1\Pi$, тобто ${}^1p_4 = M^1A \subset {}^1\Pi$, та лінія зв'язку A^1A формують прямокутний трикутник ΔAM^1A , площа якого $n(\Delta AM^1A)$ перпендикулярна площині проєкцій ${}^1\Pi$. До площини проєкцій ${}^3\Pi(y, z)$ площа цього трикутника нахилена під кутом ψ° . За допомогою азимута радара дрона № 1 визначають кут нахилу його уявного проєктуючого променя p_4 до лінії зв'язку A^1A , а саме $v^0 = p_4 \wedge A^1A$.

Із прямокутного трикутника ΔAM^1A визначають довжину відрізка AM

$$l_4 = AM = \frac{{}^1AA}{\sin v} = \frac{h}{\sin v}, \quad (2)$$

а із прямокутного трикутника 1AMK визначають різницю координат точок 1A та М, тобто

$$\Delta x_M = MK = {}^1AM \cdot \sin \psi = h \cdot \operatorname{tg} v \cdot \sin \psi; \quad (3)$$

$$\Delta y_M = {}^1AK = {}^1AM \cdot \cos \psi = h \cdot \operatorname{tg} v \cdot \cos \psi.$$

Таким чином координати виявленої міни (точка М) у прийнятій системі координат матимуть наступні розрахункові значення

$$\begin{aligned}x_M &= x_A \pm \Delta x_M = l_1 \cdot \cos \phi \cdot \cos \tau \pm h \cdot \operatorname{tg} v \cdot \sin \psi = h \left(\frac{\cos \tau}{\operatorname{tg} \phi} \pm \operatorname{tg} v \cdot \sin \psi \right); \\y_M &= y_A \pm \Delta y_M = l_1 \cdot \cos \phi \cdot \sin \tau \pm h \cdot \operatorname{tg} v \cdot \cos \psi = h \left(\frac{\sin \tau}{\operatorname{tg} \phi} \pm \operatorname{tg} v \cdot \cos \psi \right), \\z_M &= 0\end{aligned}\quad (4)$$

Знак «+» у вище приведених залежностях застосовують якщо кут ψ° гострий, і знак «-» якщо він тупий. Таким чином, використовуючи нескладну розрахункову програму, на підставі даних, поданих із встановленої на катері-тралівнику радіо-локаційної системи та даних переносних радарів на дронах, визначають координати виявленої дронами плавучої міни.

Для уточнення координат міни вище наведені розрахунки продубльовують і для двох інших дронів. Вихідні дані для цих розрахунків та розрахункову схему наведено на рис. 3 та рис. 4.

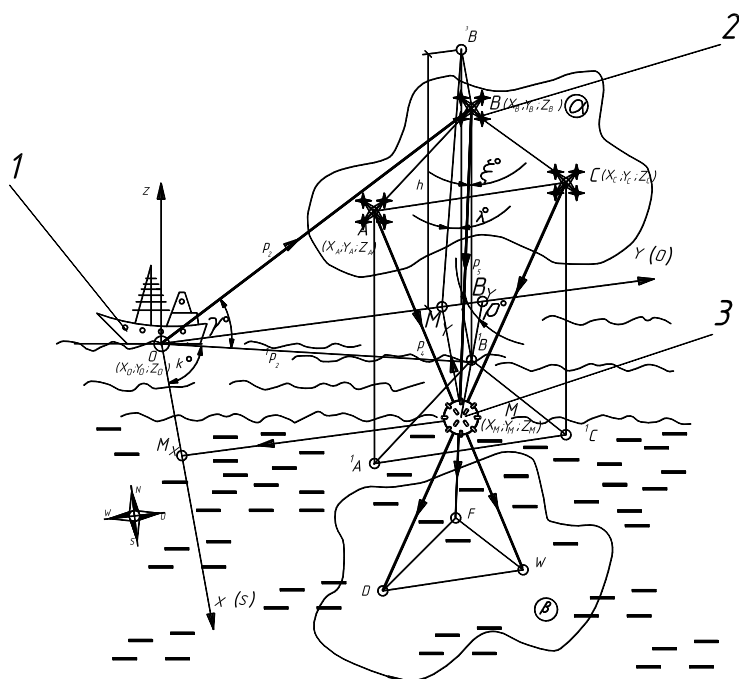


Рис. 3. Схема уточнення координат знайденої міни дронам № 2 (точка B)

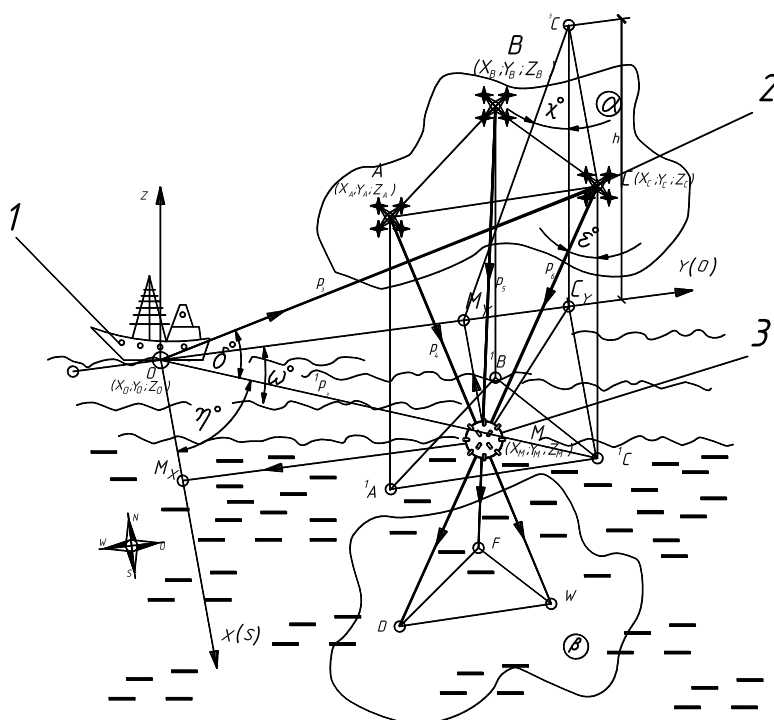


Рис. 4. Схема уточнення координат знайденої міни дронам № 3 (точка C)

Для перевірки правильності здійснених розрахунків за аналогічною схемою визначають координати точок W , F та D на проєктуючих променях p_4 , p_5 , p_6 , які розташовані на паралельній базовій «картинній» площині $\beta(W, F, D)$. Володіючи координатами точок на кінцях відрізка проєктуючого променя записують рівняння прямої лінії, що проходить через дві точки із відомими координатами. Тобто $A \in p_4$; $A(x_A, y_A, z_A)$; $W \in p_4$; $W(x_w, y_w, z_w)$; $p_4 \subset l_4$.

Тоді рівняння прямої l_4 матиме вигляд

$$\frac{x - x_A}{x_w - x_A} = \frac{y - y_A}{y_w - y_A} = \frac{z - z_A}{z_w - z_A}. \quad (5)$$

Аналогічно для проєктуючого променя p_5 , що проведений через дрон № 2 (точка B) та виявлену міну (точка M) і точку F з відомими координатами $F(x_F, y_F, z_F)$, рівняння прямої l_5 , що проведена через проєктуючий промінь p_5 , матиме вигляд

$$\frac{x - x_B}{x_F - x_B} = \frac{y - y_B}{y_F - y_B} = \frac{z - z_B}{z_F - z_B}. \quad (6)$$

Усі ці ж побудови та розрахунки здійснюють і для третього проєктуючого променя, що проходить через дрон № 3, міну M та точку D на «картинній» площині. Рівняння лінії l_6 , що проходить через ці точки, матиме вигляд.

$$\frac{x - x_C}{x_D - x_C} = \frac{y - y_C}{y_D - y_C} = \frac{z - z_C}{z_D - z_C}. \quad (7)$$

Формують системи рівнянь із будь-яких двох рівнянь проєктуючих променів і спільним їх рішенням шукають координати точок M , у якій розміщена виявлена міна. Якщо виявлені координати точки перетину між собою трьох проєктуючих променів співпадають у всіх вище відзначених кроках перевірок, то роблять висновок про відповідність розрахованих координат розміщення міни їх реальному значенню.

У подальшому для знешкодження виявленої міни команда катера-тралівника приймає рішення про вибір доступного для них методу безпосереднього знешкодження. Тут можливі декілька варіантів, у тому числі і підрив міни 3 із використанням БПЛА. У цьому випадку використовують четвертий із наявних на катері-тралівнику 1 дронів № 4. В автоматичному тримачі цього дрона 4 встановлюють відповідний боезаряд 5, вибухової речовини якого достатньо для підриву виявленої міни. Дрон-ліквідатор 4 із боезарядом 5, задавши йому розраховані координати виявленої міни, спрямовують на ліквідацію міни 3 (рис. 5).

Пошукові дрони № 1, № 2 та № 3 піднімаються на безпечну для них висоту, дрон-ліквідатор 4 розташовується над міною 3, відеокамерою він, по можливості, черговий раз уточнює тип міни та очікує команди на подальші дії. Командний пункт кінцево проаналізує безпеку вибуху міни 3 для довкілля, для людей та використовуваної пошукової техніки і дає команду на підривання міни. Пусковий механізм дрона-ліквідатора 4 розфіксує тримач боезаряду 5 і вибуховий заряд падає безпосередньо на міну чи поряд з нею у воду. Від ударного контакту боезаряду з міною 3 чи водою боезаряд 5 вибухає, провокуючи своїм вибухом і вибух виявленої міни завдяки її механічному ушкодженню чи детонації вибухової речовини.

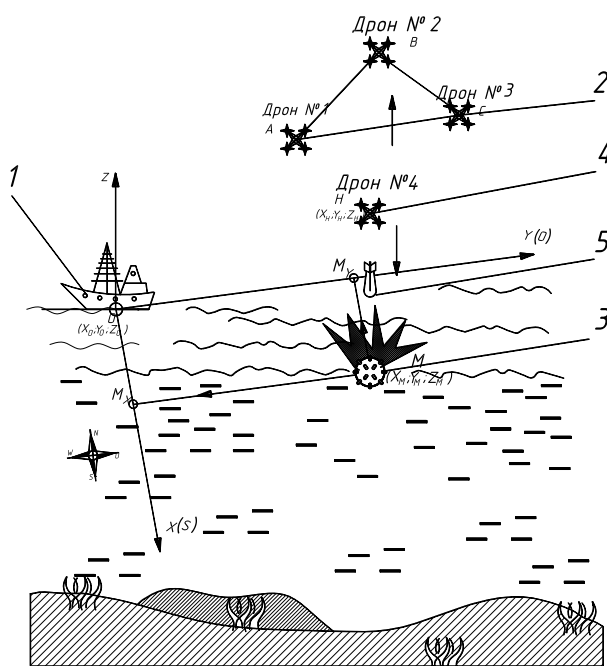


Рис. 5 Ліквідація виявленої плавучої міни

На рис. 6 відображена блок-схема послідовності розрахунків та побудови комп'ютерної програми для визначення координат виявленої БПЛА плавучої міни. Розрахункова блок-схема передбачає введення табличних вхідних даних, до яких належать модель та кількість пошукових дронів, характеристика їх просторового розташування та переміщень, висота лету під час пошуків плавучих мін.

Табличні вхідні дані блок-схеми розрахунку координат плавучих мін.

Таблиця 1

№ з/п	Назва заданого параметра	Позначення і числове значення заданого параметра
1.	Кількість пошукових БПЛА	Модель БПЛА – Кількість БПЛА – 3 штуки
2	Траєкторія пошукових переміщень БПЛА	Спіраль Архімеда Міжвиткова віддаль або крок спіралі $t = 3a = 3 \cdot 100 = 300$ м, $a = 100$ м – віддаль між дронами
3	Ширина смуги пошукової ділянки	$b = 3a = 3 \cdot 100 = 300$ м
4	Розташування БПЛА при виявленні міни	Трикутник ABC із довжиною кожної сторони $a = 100$ м та кутом 120° при вершинах
5	Висота розташування БПЛА над виявленою міною	$h = 25 - 50$ м

Безпосередньо розрахунок передбачає декілька етапів. Зокрема, визначення віддалі від базового катера-тралівника до кожного із розміщених над виявленою міною дронів, розрахунок координат проєкцій пошукових дронів на поверхню

моря, визначення довжини генерованих дронами проектуючих променів на виявлену міну тощо. На підставі цих даних розраховують координати міни і перевіряють їх точність. У випадку розбіжностей прорахованих по кожному із пошукових дронів даних уточнюють кути нахилу та довжини проектуючих променів радіолокаційної станції катера-тралівника та аналогічні дані пошукових дронів (рис. 5).

Параметри проектуючих променів та їх проекцій в обраній системі координат (рис. 2, рис. 3, рис. 4)

Таблиця 2

№ з/п	Проектуючі промені РЛС катера-тралівника (рис. 2, рис. 3, рис. 4)			
	Елементи просторового розташування проектуючих променів та їх проекцій	Дрон № 1	Дрон 2	Дрон № 3
1	Довжина l_i проектуючих променів	$p_1 = l_1 = OA$	$p_2 = l_2 = OB$	$p_3 = l_3 = OC$
2	Довжина проекцій p_i проектуючих променів	${}^1p_1 = O^1A$	${}^1p_2 = O^1B$	${}^1p_3 = O^1C$
3	Кути нахилу проектуючих променів та їх проекцій до поверхні моря (горизонтальної площини проекцій ${}^1\Pi$); Кути нахилу проекцій проектуючих променів p_i до осі x	$\varphi = p_1 \wedge {}^1p_1$ $\tau = {}^1p_1 = O^1A$	$\gamma = p_2 \wedge {}^1p_2$ $k = {}^1p_2 = O^1B$	$\delta = p_3 \wedge {}^1p_3$ $\eta = {}^1p_3 = O^1C$
	Проектуючі промені та їх проекції, генеровані пошуковими дронами (рис. 2, рис. 3, рис. 4)			
	Елементи просторового розташування проектуючих променів та їх проекцій	Дрон № 1	Дрон № 2	Дрон № 3
4	Довжина l_i проектуючих променів дронів	$p_4 = l_4 = AM$	$p_5 = l_5 = BM$	$p_6 = l_6 = MC$
5	Довжина проекцій p_i проектуючих променів дронів	${}^1p_4 = M^1A$	${}^1p_5 = M^1B$	${}^1p_6 = M^1C$
6	Кути нахилу проектуючих променів та їх проекцій до вертикальної лінії зв'язку	$\nu = p_4 \wedge A^1A$	$\xi = p_5 \wedge B^1B$	$\varepsilon = p_6 \wedge C^1C$
7	Кути нахилу площин, що проходять через проектуючі промені перпендикулярно поверхні моря, до площини проекцій ${}^3\Pi$	$\psi = n_4 \wedge {}^3\Pi$	$\rho = n_5 \wedge {}^3\Pi$	$\omega = n_6 \wedge {}^3\Pi$
8	Кути нахилу проектуючих променів до профільної площини проекцій ${}^3\Pi$	$\mu = p_4 \wedge {}^3\Pi$	$\lambda = p_5 \wedge {}^3\Pi$	$\chi = p_6 \wedge {}^3\Pi$

Таким чином при використанні даного методу пошуку та ліквідації мін практично немає потреби у безпосередньому контакті людей командного пункту катера-тралівника із небезпечною для їх життя міною. Хоч, звичайно, ситуації на розмінуванні можуть складатися по-різному. Наприклад, потужності скинутого з дрона-ліквідатора боезаряду може виявитись недостатньо для підриву міни. Тоді катерові-тралівнику доведеться протралити зону моря, де розміщена міна і знешкодити її. Або ж використати інші більш потужні сучасні засоби ліквідації мін.

Наприклад, плавучі безпілотні апарати, оснащені керованими торпедами-ліквідаторами чи, так звані роботи-камікадзе. Їх самопідрив на виявленій міні руйнує її оболонку і міна або вибухає, або руйнується, перестаючи бути загрозою для людей та плавзасобів.

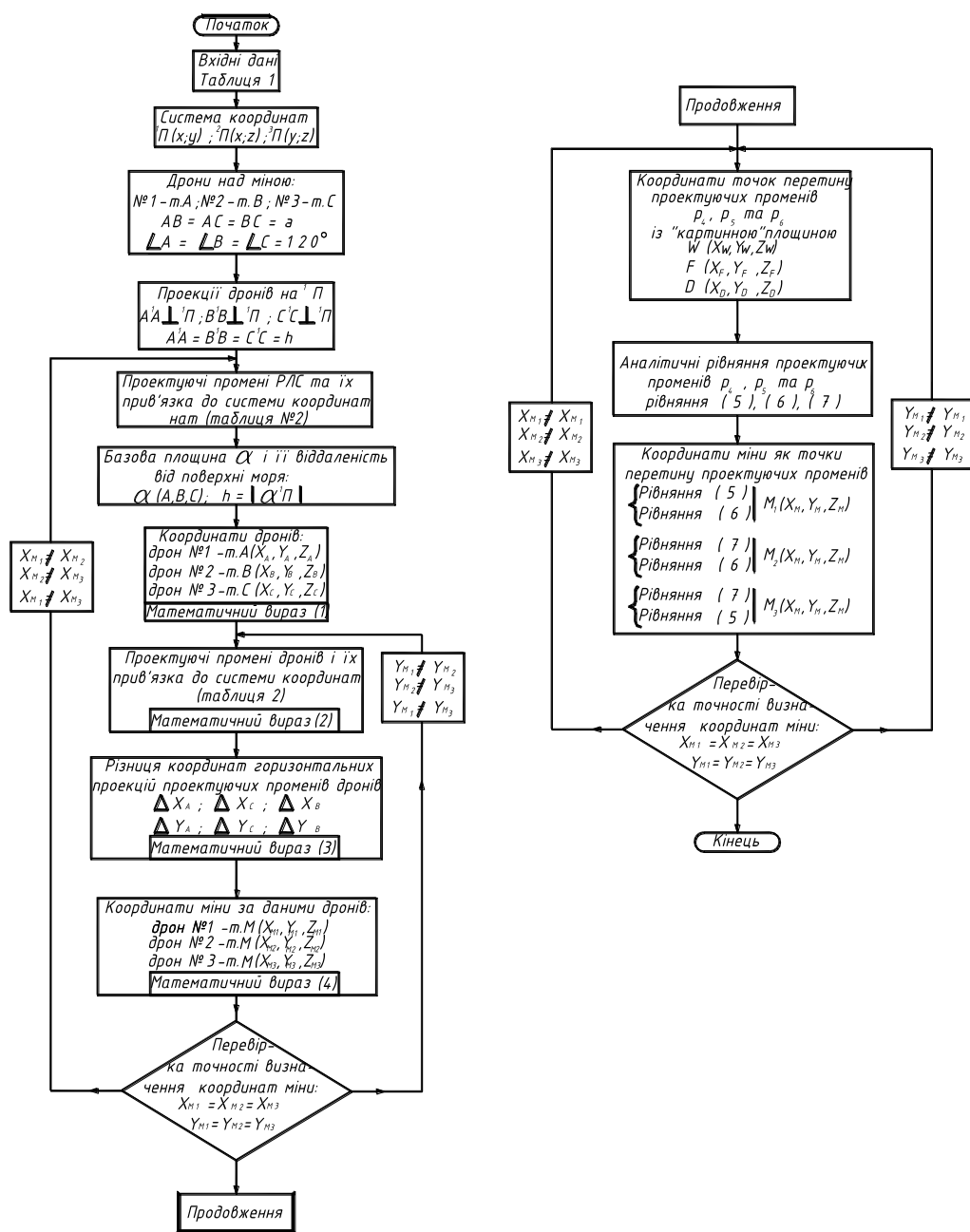


Рис. 6. Блок-схема розрахунків координат виявлених плавучих мін

Обговорення результатів дослідження

Звичайно, як і більшість інженерних рішень, даний метод розмінування акваторії поверхні моря та річок має як свої переваги, так і свої вагомні недоліки. Незаперечно найвагомнішим із недоліків є те, що він придатний лише для плавучих мін, що дрейфують на поверхні водойми. Ні для розмінування так званих якірних мін, ні для знешкодження донних мін він, звичайно, не придатний. Непридатний тому, що переносні радари, якими споряджені пошукові дрони, не спроможні ефективно відсканувати товщу води, у якій ці міни знаходяться.

Іншим відчутним недоліком описаного методу розмінування є його критична залежність від погодних умов. Вітер із швидкістю понад 7-8 м/с, збурення хвиль висотою понад 1,5 метри, надмірна задимленість повітря, інтенсивні дощові чи снігові опади – усе це унеможлиблює використання дронів як літальних апаратів, а відповідно і унеможлиблює застосування засобів кінематичного проектування для пошуку мін на поверхні моря.

Певним недоліком є і те, що виявлені даним методом міни не можливо позбавити плавучості чи зафіксувати на місці їх виявлення. Тому ці виявлені плавучі міни необхідно відразу ж по виявленню ліквідувати. Інакше вони можуть бути віднесені вітрами чи течіями в інші ділянки і їх пошуки доведеться розпочинати заново.

Та є дві незаперечні переваги, які властиві методиці застосування кінематичного проектування для пошуку плавучих мін. Перш за все, це повне усунення людей як від пошукових переміщень, так і від знешкодження мін. Це дуже важливо, бо процес розмінування не тільки довготривалий, а і вкрай небезпечний для команди катерів-тральників та водолазів.

Іншою вагомою перевагою даного методу розмінування є відносно висока продуктивність та швидкість його пошукових робіт [14]. Широка смуга охоплення трьома летючими дронами пошукової території, їх узгоджені переміщення по спіралі Архімеда – усе це сприяє ефективним пошуковим роботам. До того ж це усуває наявність не обстежених ділянок, що доволі часто трапляється при зворотно-поступальних переміщеннях пошукових суден.

Ну і як позитивний аспект можна відзначити зведені до мінімуму пошукові переміщення катера-тральника. Він або стоїть на якорі або ж дрейфує із мінімальними витратами вартісного палива для роботи привідних двигунів. Незаперечно це компенсує витрати на придбання та оснащення пошуковою апаратурою дронів, на створення необхідного програмного забезпечення для керування пошуковими переміщеннями дронів. Адже для патрулювання аналогічної за площею в 6 км² ділянки моря катерові довелося б за годину проплисти біля 20 кілометрів, витративши на це приблизно 20 літрів палива вартістю приблизно 1000 гривень. А таких ділянок впродовж одного робочого дня буде не менше 5-6, тобто це щоденна економія 5-6 тисяч гривень.

На жаль, враховуючи воєнні події на території України, авторам статті не вдалося здійснити натурні випробування запропонованої схеми розмінування. Автори сподіваються здійснити це у майбутньому в мирний час і запрошують до співпраці усіх зацікавлених у результатах даного дослідження осіб та організацій.

Висновки

1. Стрімкий розвиток науки та техніки на межі тисячоліть суттєво вдосконалив військово озброєння загалом і засоби мінування як на суші, так і на водних просторах, зокрема. Новітні можливості та технології виготовлення вибухових речовин, застосовувані для виготовлення мін сучасні матеріали, високоякісна електроніка керування моментом вибуху та інші досягнення перетворили сучасні міни із «пасивного очікувача» в потужних гіперактивних автономних руйнівників водних плавучих засобів.

2. Серед різновидів мінного озброєння, яке використовують на акваторіях річок та морів, плавучі міни найменш потужні. Проте вони найпідступніші через відсутність керованості їх переміщень вітрами, течіями та морськими хвилями. Тому, поряд із небезпекою для військових плавучих засобів, ці міни ще більш небезпечні для цивільного населення, що проживає, працює чи відпочиває на берегах водойм. Адже припливши до берега чи потрапивши на міліну чи берегове каміння ця міна несподівано вибухає навіть від ударних контактів із ґрунтом чи камінням дна водойми.

3. Суть запропонованого методу полягає у застосуванні для пошуку плавучих мін групи безпілотних літальних апаратів типу «дрон», результати пошуків яких зводяться до розрахунків координат виявленої плавучої міни засобами кінематичного проектування. Використання малогабаритних економних пошукових літальних апаратів усуває потребу в пошукових переміщеннях катерів-тральників. Це відчутно здешевлює пошукові роботи, підвищує їх безпеку для командного складу катерів-тральників.

4. Серед когорти можливих траєкторій переміщень літальних апаратів та катера-тральника при пошуках плавучих мін рекомендовано як оптимальну траєкторію польотів пошукових апаратів групою із трьох вилаштуваних в ряд дронів по спіралі Архімеда із міжвитковим кроком, пропорційним кількості пошукових дронів та радіусу ефективної дії їх пошукової апаратури.

5. Не зважаючи на недоліки методу пошуку плавучих мін БПЛА із застосуванням засобів кінематичного проектування, що полягають у його підвищеній чутливості до метеорологічних погодніх умов, а особливо, до вітрового навантаження на пошукові дрони, все ж даний метод має перспективу широкого практичного застосування. Пояснюється це тим, що перш за все, при його використанні усувається небезпека контакту людей із вибухонебезпечною міною, а по-друге, застосування даного методу усуває потребу в пошукових переходах катера-тральника, забезпечуючи тим самим відчутну економію палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонов Р. БПЛА допоможуть виявити нездетонувавші боєприпаси // Мілітарний : портал. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhuvyavlyaty-nezdetonuvavshi-boyergrupasy/> (дата звернення: 18.08.2022).
2. Вертолiтний трал на підводних крилах Harris MK-105 // Think Defence. URL: www.thinkdefence.co.uk (дата звернення: 18.08.2022).
3. Лаврівський М. З., Тур Н. Є. Використання безпілотних літальних апаратів в моніторингу надзвичайних ситуацій у лісовій місцевості. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 258. С. 353–359.

4. Кучеренко Ю. Ф., Науменко М. В., Кузнецова М. Ю. Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 1. С. 25–30. DOI: 10.30748/soivt.2018.53.03
5. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития : монография. Киев : РУМБ, 2008. 160 с.
6. Кінематичне проєціювання як засіб управління технікою в автоматизованих землеробних комплексах / І. Г. Свідрак, Л. І. Шевчук, О. І. Строган, Л. Р. Струтинська, І. В. Строган. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 5. Т. 31. С. 102–107.
7. Афтаназів І. С., Строган О. І., Струтинська Л. Р., Строган І. В. Застосування кінематичного проєціювання в автоматизованих землеробних комплексах. *Problems of science and practice, tasks and ways to solve them : abstracts of XI International scientific and practical conference, Warsaw, Poland, March 22–25, 2022*. Warsaw, 2022. P. 351–355.
8. Визначення просторових координат точок панорамного знімання / І. Г. Свідрак, О. Р. Баранецька, В. І. Топчій, А. О. Шевчук, Н. С. Галкіна. *Збірник наукових праць МДПУ ім. Б. Хмельницького*. Мелітополь, 2014. Вип. 2. С. 136–140.
9. Шульц Р. В., Войтенко С. П., Крельштейн П. Д., Маліна І. А. До питання розрахунку точності визначення координат точок під час аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів. *Інженерна геодезія*. 2015. Вип. 62. С. 124–136.
10. Svidrak I. G., Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strogan O. I. Determination of coordinates of unmanned aircrafts by means of kinematic projection. *Mathematical Modeling and Computing*. 2022. Vol. 9, № 2. P. 459–469. DOI: <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459>
11. Свідрак І. Г., Афтаназів І. С., Строган О. І., Шевчук А. О. Кінематичне проєціювання в сучасних технологіях. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія «Харчові технології»*. 2021. Т. 23, № 96. С. 67–75. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9612>
12. Афтаназів І. С., Свідрак І. Г., Строган О. І. Визначення координат безпілотних літальних апаратів. *Сучасні дослідження у світовій науці : матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 15–17 травня, 2022 р.)*. Львів, 2022. С. 380–388.
13. Янчук Р. М., Трохимець С. М. Створення картографічної основи для розробки генеральних планів населених пунктів за матеріалами аерознімання з непрофесійних БПЛА. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2017. Вип. 1. С. 32–39.
14. Глотов В., Фис М., Пащетник О. Розробка методики підвищення точності визначення просторових координат точок об'єктів при аерозніманні з БПЛА *Геодезія, картографія і аерофотознімання*.

Львів, 2020. Вип. 92. С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgsap.2020.92.045>

15. Калиновская О. П., Глоговский В. В., Пулькевич И. Г. К проблеме единой теории проекционных отображений. *Прикладная геометрия и инженерная графика*. 1994. Вып. 57. С. 45–50.
16. Апальков Ю. В. ВМФ СССР и России. Корабли противоминной обороны. Часть 2. СПб : Морское наследие, 2019. 224 с.

REFERENCES

1. Antonov, R. (2022) UAVs will help detect unexploded ordnance [BPLA dopomozhut vyiyavty nezdetonuvavshi boieprypasy]. *Military portal*. Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vuyavlyaty-nezdetonuvavshi-boieprypasy/> [in Ukrainian].
2. Harris MK-105 hydrofoil trawler [Vertolnitnyi tral na pidvodnykh krylakh Harris MK-105]. (2022). *Think Defence*. Retrieved from www.thinkdefence.co.uk. [in Ukrainian].
3. Lavrivskiy, M.Z. & Tur, N.Ye. (2015). The use of unmanned aerial vehicles in monitoring emergency situations in forest areas [Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ v monitorynhu nadzvychainykh sytuatsii u lisovii mistsevosti]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 258, 353–359. [in Ukrainian].
4. Kucherenko, Yu.F., Naumenko, M.V. & Kuznietsova M.Iu. (2018). Analysis of the experience of using unmanned aerial vehicles and determining the direction of their further development in conducting network-centric operations [Analiz dosvidu zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ ta vyznachennia napriamku yikh podalshoho rozvytku pry provedenni merezhetsentrychnykh operatsii]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 1, 25–30. DOI: 10.30748/soivt.2018.53.03 [in Ukrainian].
5. Mosov, S. (2008). Unmanned reconnaissance aircraft of the countries of the world: history of creation, experience of combat use, current state, development prospects [Bespylotnaia razvedyvatelnaia avyatsiya stran myra: ystoriya sozdaniya, opyt boevoho pryumeneniya, sovremennoe sostoianye, perspektivy razvytyia]. Kyev : RUMB [in Russian].
6. Svidrak, I.H., Shevchuk, L.I., Strohan, O.I., Strutynska, L.R. & Strohan, I.V. (2021). Kinematic projection as a means of controlling equipment in automated agricultural complexes [Kinematychno proetsiiuvannia yak zasib upravlinnia tekhnikoju v avtomatyzovanykh zemlerobnykh kompleksakh]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 31(5), 102–107. [in Ukrainian].
7. Aftanaziv, I.S., Strohan, O.I., Strutynska, L.R. & Strohan, I.V. (2022). Application of kinematic projection in automated agricultural complexes [Zastosuvannia kinematychnoho proetsiiuvannia v avtomatyzovanykh zemlerobnykh kompleksakh]. *Problems of science and practice, tasks and ways to solve them*, abstracts of XI International scientific and practical conference, Warsaw, Poland, March 22–25, 2022. Warsaw [in Ukrainian].
8. Svidrak, I.H., Baranetska, O.R., Topchii, V.I., Shevchuk, A.O. & Halkina, N.S. (2014). Determination of spatial coordinates of points of panoramic

- shooting [Vyznachennia prostorovykh koordynat tochok panoramnoho znimannia]. *Zbirnyk naukovykh prats MDPU im. B. Khmelnytskoho*, 2, 136–140. [in Ukrainian].
9. Shults, R.V., Voitenko, S.P., Krelshstein, P.D. & Malina, I.A. (2015). To the question of calculating the accuracy of determining the coordinates of points during aerial photography from unmanned aerial vehicles [Do pytannia rozrakhunku tochnosti vyznachennia koordynat tochok pid chas aerofotoznimannia z bezpilotnykh litalnykh aparatyv]. *Inzhenerna heodeziia*, 62, 124–136. [in Ukrainian].
 10. Svidrak, I.G., Aftanaziv, I.S., Shevchuk, L.I. & Strohan, O.I. (2022). Determination of coordinates of unmanned aircrafts by means of kinematic projection. *Mathematical Modeling and Computing*, 9(2), 459–469. DOI: <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459> [in English].
 11. Svidrak, I.H., Aftanaziv, I.S., Strohan, O.I. & Shevchuk, A.O. (2021). Kinematic projection in modern technologies [Kinematychni proetsiuvannia v suchasnykh tekhnolohiiakh]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriya "Kharchovi tekhnolohii"*, 23(96), 67–75. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9612> [in Ukrainian].
 12. Aftanaziv, I.S., Svidrak, I.H. & Strohan, O.I. (2022). Determining the coordinates of unmanned aerial vehicles [Vyznachennia koordynat bezpilotnykh litalnykh aparatyv]. *Suchasni doslidzhennia u svitovii nausti, materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Lviv, 15–17 travnia, 2022). Lviv [in Ukrainian].
 13. Yanchuk, R.M. & Trokhymets, S.M. (2017). Creation of a cartographic basis for the development of general plans of settlements based on the materials of aerial photography from non-professional UAVs [Stvorennia kartohrafichnoi osnovy dlia rozrobky heneralnykh planiv naselenykh punktiv za materialamy aeroznimannia z neprofesiinykh BPLA]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*, 1, 32–39. [in Ukrainian].
 14. Hlotov, V., Fys, M. & Pashchetnyk, O. (2020). Development of a technique for increasing the accuracy of determining the spatial coordinates of object points during aerial photography from a UAV [Pashchetnyk Rozrobka metodyky pidvyshchennia tochnosti vyznachennia prostorovykh koordynat tochok obiektiv pry aeroznimanni z BPLA]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 92, 45–54. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.045-54> [in Ukrainian].
 15. Kalynovskaia, O.P. Hlohovskyi, V.V. Pulkevych, I.H. (1994). On the problem of a unified theory of projection mappings [K probleme edynoi teoryy proektsyonnykh otobrazhenyi]. *Prykladnaja heometryja i inzhenernaja hrafiika*, 57, 45–50 [in Russian].
 16. Apalkov, Yu.V. (2019). *Navy of the USSR and Russia. Mine defense ships* [VMF SSSR i Rossii. Korabli protyvomynnoj oborony]. Chast 2. SPb : Morskoe nasledie [in Russian].