

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.7:629.072.1

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.4-19.02>

УТОЧНЕННЯ КООРДИНАТ ПРИ ПОШУКУ МОРСЬКИХ МІН ЗАСОБАМИ КІНЕМАТИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

І.С. Афтаназів¹, Л.І. Шевчук², О.І. Строган³, А.О. Шевчук⁴

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

⁴ст. викладач кафедри нарисної геометрії та графіки,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-8963-4082

Анотація

Розглянуто актуальне для Європи на період активного розгортання на її території воєнних протистоянь питання розмінування морських рейдів і портів. Запропоновано розширити пошукові можливості катерів-тралівників долученням до них допоміжних пошукових плавучих засобів. Це в півтора-два рази збільшує площу ефективного пошуку, зменшує на 25–30% витрати палива на пошукові переходи плавучих засобів.

Запропоновані як оптимальні траєкторія пошукових переміщень плавучих засобів за спіраллю Архімеда та методика визначення координат мін засобами кінематичного проєктування.

Переміщення пошукових суден за спіраллю Архімеда рекомендовано з міркувань відсутності в такій траєкторії стрімких поворотів та зворотно-поступальних рухів, які небажані для пошукових переміщень катерів-тралівників. Водночас усувається небезпека наявності необмежених ділянок поверхні водойми чи моря.

Як один із найдієвіших варіантів знешкодження мін запропоновано їх підірвання боезарядами, скинутими з літального безпілота-ліквідатора.

Для уточнення координат розташування якірних і донних мін пропонується застосування методики кінематичного проєктування. Ця методика передбачає формування базової площини та призначення в товщі морських глибин «картинної» площини проєкції, на яку проєктуватимуться промені. У даному разі об'єктом проєктування слугує розшукувана міна. Застосування методики кінематичного проєктування та допоміжного плавучого пошукового судна для

пошуку мін дозволяє не тільки здійснювати пошукові роботи без безпосередньої участі в них людей, а і підвищити продуктивність і швидкість зазначених робіт.

Для керування переміщеннями пошукових плавучих засобів, для опрацювання наданих даних про виявлену міну, для уточнення координат виявленої міни запропонована відповідна блок-схема комп'ютерної програми.

Установлено, що на швидкостях пошукових переміщень плавучих засобів $5 \div 5,5$ вузлів за допомогою запропонованої схеми пошуку можна щогодинно обстежувати до 6 квадратних кілометрів акваторії моря. Водночас на обстеженні такої площі можна зекономити до 20 літрів вартісного палива завдяки зменшенню переміщень катера-тралівника.

Ключові слова: пошук, якірна та донна міни, розмінування, катер-тралівник, човен, додатковий плавучий засіб, блок-схема, розрахунок, координати.

CLARIFICATION OF COORDINATES WHEN SEARCHING FOR SEA MINES BY MEANS OF KINEMATIC DESIGN

I.S. Aftanaziv¹, L.I. Shevchuk², O.I. Strohan³, A.O. Shevchuk⁴

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

³Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department Geometry and Engineering Graphics,

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1790-6736

⁴Assistant of the Department Geometry and Engineering Graphics,

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-8963-4082

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 expand the search capabilities of trawler boats by adding auxiliary search vessels to them. This increases the effective search area by one and a half to two times, reducing by 25–30% fuel consumption for search passages of floating vehicles.

The optimal trajectory of search movements of floating vehicles along the Archimedean spiral and the method of determining the coordinates of mines by means of kinematic design are proposed.

The movement of search vessels along an Archimedean spiral is recommended due to the absence of sharp turns and reciprocating movements in such a trajectory, which are undesirable for the search movements of trawler boats. At the same time, the danger of having unlimited areas of the surface of the reservoir or the sea 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.

To clarify the coordinates of the location of anchor and bottom mines, it is proposed to use the kinematic design method. This technique provides for the formation of a base plane and the designation of a “picture” projection plane in the depth of the sea, on which the projecting rays will be projected. In this case, the wanted mine serves as a design object. The use of kinematic design techniques and an auxiliary floating search vessel to search for mines allows not only to carry out search operations without direct participation in the search of people, but also to increase the productivity and speed of search operations.

In order to manage the movements of the search floats, to process the data provided by them about the detected mine, to specify the coordinates of the detected mine, a corresponding block diagram of the computer program is proposed.

It was established that at speeds of 5÷5,5 knots of search movements of floating vessels, 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 during the survey of such an area due to the reduction of movements of the trawler boat.

Key words: *search, anchor and bottom mines, demining, trawler boat, boat, additional floating vehicle, block diagram, calculation, coordinates.*

Вступ. Специфічною особливістю розвитку науки та техніки впродовж перших десятиліть ХХІ ст. є практично миттєве впровадження новітніх результатів досліджень у космічну та військову галузі. Як наслідок – розвиток цих галузей набув нечуваних результатів і можливостей.

Не оминуло впровадження наукових досягнень і таку специфічну галузь військового озброєння, як міни морського застосування. Сучасні вибухові матеріали, що значно перевищують за руйнівною здатністю традиційні динаміт і нітротолуол, спроможні реагувати на акустичні, електронні та вібраційні збурення поверхні моря, здатні виявляти цілі, вивільнятися від утримуючих тросів чи впливати з морського дна на поверхню – усе це перетворює сучасні міни з пасивних вибухових зарядів на активні розшукувачі цілей і ефективні засоби їх знищення. Поряд із покращенням і вдосконаленням руйнівної спроможності морських мін вдосконалюються і засоби їх маскування та запобігання розмінуванню. Наприклад, виготовлення мін із малочутливих до пошукових акустичних чи електромагнітних хвиль матеріалів, оснащення потужних мін захисними вибуховими пастками тощо.

Тому закономірно, що однією з найважливіших методик знешкодження мін під час розмінування морських акваторій нині постає дистанційне їх підірвання глибинними бомбами або підводними дистанційно керованими роботизованими апаратами-підіривниками.

Сучасні інженерна думка та фантазія перетворили здавалось би простий і невибагливий смертоносний виріб, яким є традиційна морська міна, на витвір мистецтва. Теперішні різновиди морських мін, як-от самотранспортована донна міна-торпеда Mk.67 SLMM (виробництво США), можуть самотужки допливати до наперед заданих їм координатами місць мінування. Або, будучи скинутими з літаків, пролітати до 100 кілометрів і м'яко приводнитися та залягти на дно в очікуванні своєї жертви (модель Quickstrike-ER) [1]. Чи перебувати на морському

дні в режимі тривалого очікування, а в потрібну мить зреагувати, наприклад, на характерний шумовий фон корабля чи підводного човна, миттєво стартувати та торпедувати цей плаваючий засіб (модель Mark 60 Caprot виробництва США або модель протичовнової міни-торпеди ПМК-2 виробництва Росії). Міни-пастки, здатність до цифрової обробки складних сигналів детонаторами мін, нечутливі до електромагнітних випромінювань пластикові корпуси та надпотужні сучасні вибухові речовини, маскуванія під морські валуни та донне каміння – це прояви інженерного мистецтва оснащення й оздоблення сучасних морських мін. Усе це притаманні сучасним мінам тонкощі інженерної думки їхніх творців, спрямовані на маскуванія мін від несвоєчасного їх виявлення та на невідворотність їх смертоносного вибуху в наперед обумовлених ситуації чи часі.

Тому сучасні засоби розмінування зорієнтовані на зведення до мінімуму можливості контакту з мінами людей. Розмінування переважно зводиться до дистанційного знешкодження мін за допомогою катерів-тральників і дистанційно керованих підводних торпед чи спеціальних роботів-ліквідаторів мін їх самопідживанням.

Морські міни, завдяки автоматизації їхньої спроможності до обробки сигналів на спрацювання та новітніх методів доставки в точки закладання, перетворились із пасивної очікувальної зброї на зброю наступальну. Тому тепер для унеможливлення судноплавства та зриву розгортання ворожого флоту досить без заходу в зону дії протиповітряної оборони противника чи поза своїми територіальними водами виставити міни за допомогою плануючих бомб або підводних безпілотників.

Найефективнішими для розмінування значних площ морської акваторії натеper є морські самохідні трали. Це переважно катери, які спеціально адаптовані до того, щоб витримувати навантаження від вибухів мін. Найчастіше на такий катер встановлюють різноманітні імітатори шумів, вібрацій і магнітних полів, що роблять його схожим для мін на типовий корабель. У сучасному світі це розбірний понтонний катер зі швидкістю руху 6–10 вузлів, який можна швидко перетранспортувати літаком у потрібну точку світу. Прикладом сучасних катерів-тральників є шведський SAM-3 і американський SAM-05.

Отже, мимоволі напрошується висновок – головне вчасно виявити міну, а сучасних засобів для її знешкодження, зокрема й дистанційного, удосталь [2].

Тому не втрачають своєї актуальності наукові дослідження в руслі вдосконалення наявних і створення новітніх більш прогресивних методів пошуку мін.

Специфічною особливістю вдосконалення сучасних методів пошуку морських мін є те, що переважно вони ґрунтуються не тільки на можливостях вдосконалення пошукових засобів, як-от використання безпілотних літальних апаратів [3–5] чи плаваючих безпілотних апаратів, а і на застосуванні математичного апарату та практично невичерпних спроможностей сучасної обчислювальної техніки [3–5].

Деякі перспективи в цьому контексті спостерігаються у спроможності долучити до пошукових методів визначення координат морських мін методики сучасної нарисної геометрії, а саме її складової частини, що відома під назвою «кінематичне проектування» [6; 7]. Під кінематичним проектуванням (відображенням) розуміють проектування, за якого всі його елементи, а саме центр проектування, фокальні фігури проєктуючих комплексів і конгруенцій, об'єкти проектування

(прообрази) та носій проєкцій («картинна площина»), можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі та часі [8; 9].

Вагомий внесок у становлення та розвиток кінематичного проєктування привнесено науковцями Національного університету «Львівська політехніка» В.М. Глаговським та І.Г. Пулькевич. У їхніх роботах [10] уперше було запропоновано використання розроблених ними лінійних операторів для грамографічних, ротографічних і спінографічних відображень рухомих об'єктів простору.

Поряд із створенням алгоритмів рішень прямого завдання кінематичного проєктування для пошуку проєкцій траєкторій просторових переміщень об'єктів авторами було розроблено та ґрунтовно досліджено й алгоритми рішень оберненої задачі. Обернена задача передбачає пошук за відомою траєкторією руху координат просторового розташування об'єкта. Опірались ці дослідження на досвід працівників Національного університету (далі – НУ) «Львівська політехніка» (Україна) у галузі аерофотогеодезії в застосуванні безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) для визначення координат місцевості під час складання топографічних карт [11; 12].

Стосовно використовуваного нами методу кінематичного проєктування відзначимо, що цей метод проєктування дозволяє визначати миттєві координати та траєкторії просторових переміщень рухомих об'єктів. За наявності руху всіх без винятку засобів і складових проєктування, а саме об'єктів проєктування, «спостерігачів» і координатної площини із проєктуючими променями. Усі ці об'єкти проєктування або частина з них можуть перебувати у прискореному або рівномірному русі, а рух кожного зі складників проєктування не залежатиме від руху інших його складників [10].

Практичне застосування теоретичних основ кінематичного проєктування відкриває нові можливості у відображенні рухомих об'єктів простору, у питаннях пошуку миттєвих координат їх розташування, а за потреби – у визначенні характеристик і складників руху.

Найбільш яскравим прикладом успішного використання кінематичного проєктування для відстеження траєкторій і координат просторових переміщень рухомих об'єктів є успішні дослідження геометрів НУ «Львівська політехніка» з визначення координат безпілотних літальних апаратів [6; 7]. У результаті цих досліджень створена теоретична база математичного апарату розрахунку засобами кінематичного проєктування координат і траєкторій просторових переміщень ворожих диверсійно-розвідувальних БПЛА. Експериментальна перевірка підтвердила високу ефективність і точність визначення просторових координат рухомих об'єктів засобами кінематичного проєктування.

Саме це, а також усвідомлення актуальності та доцільності залучення до пошуків мін у морських глибинах сучасного математичного апарату й останніх досягнень нарисної геометрії, і було покладено в основу даного дослідження.

Мета роботи – розроблення методики пошуку та визначення координат морських мін різних типів і просторово-глибинного розташування.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні *завдання дослідження*:
– розроблення методики визначення координат просторово-глибинного розташування морських мін засобами кінематичного проєктування;

– створення принципової схеми оптимальних переміщень пошукового катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу для збільшення площі ефективного пошуку морських мін;

– створення алгоритму програмного забезпечення для розроблення програми розрахунку й узгодження даних пошукових плавучих засобів для визначення координат місцерозташування міни.

Об'єктом дослідження є способи ефективного пошуку мін у морських глибинах і у водах великих прісноводних водойм.

Предмет дослідження – методика визначення та розрахунків координат просторового розташування мін в акваторіях морських глибин.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає у створенні принципово нової теоретично обґрунтованої методики пошуку та розрахунку координат мін у морських глибинах і водах прісноводних водойм, що ґрунтується на застосуванні засобів кінематичного проектування.

Практична значущість результатів дослідження вбачається в таких перевагах їх використання та застосування. Передусім запропоновані методики пошуку координат морських мін і створені математичні залежності розрахунків цих координат дозволяють приблизно удвічі розширити акваторію пошуку мін. Це пропорційно зменшить трудозатрати на пошукові роботи, а також затрати палива на переходи пошукового судна з однієї пошукової ділянки на іншу. Поряд із підвищенням ефективності пошуків мін засоби кінематичного проектування дозволяють наближено оцінити типаж і габаритні розміри виявленої міни, полегшити команді катера-тралівника ухвалити рішення щодо вибору методу розмінування.

Результати. Специфічні особливості застосування засобів кінематичного проектування для підвищення ефективності пошуків мін у морських глибинах і принципову пошукову схему, що відображає суть застосування засобів кінематичного проектування, відображено на рис. 1–4.

На рис. 1 і 2 схематично відображено пошук морських мін із використанням засобів кінематичного проектування. Для реалізації цієї схеми пошуку використовують два незалежні плавучі засоби, як-от безпосередньо катер-тралівник і допоміжний плавучий засіб (далі – ДПЗ). Кожен із цих плавучих засобів оснащений пошуковою гідролокаційною апаратурою та мережею надійного взаємозв'язку. Окрім традиційного спорядження для підрізання якірних мін, катер-тралівник має бути оснащений сучасними підводними безпілотними роботизованими пристроями для дистанційного підривання донних і глибинних мін. Командний пункт катера-тралівника, для можливості застосування кінематичного проектування як засобу визначення координат морських мін, необхідно оснастити швидкодіючою обчислювальною технікою та належним програмним забезпеченням, а також радіолокаційною станцією (далі – РЛС) для відстеження та визначення відстані до допоміжного плавучого засобу. Ці вимоги міг би задовольняти, наприклад, катер-тралівник моделі ARCIS Atlas Electronik [1; 2].

Як допоміжний пошуковий плавучий засіб тут може використовуватися, наприклад, потужний моторизований човен чи катер, що спроможний протистояти вітровому навантаженню та зумовленому ним хвильовому збуренню морської поверхні. Сприйнятим є і варіант, у якому як ДПЗ використовуватимуть ще один катер-тралівник.

Тому доречно так організувати пошукові роботи з розмінування окремих акваторій моря, щоб максимально широко охопити площі пошукових ділянок, а також забезпечити знешкодження виявлених боєзарядів. Тому тут велике значення мають, поряд із потужністю пошукової апаратури, і траєкторії пошукових переміщень використовуваних для пошуків технічних засобів. Часто також збільшують кількість одночасно використовуваних технічних пошукових засобів, узгоджують поміж ними режими пошукової роботи та траєкторій їх просторових переміщень [6; 7; 10].

Пошуки плавучих мін значною мірою схожі на переміщення риболовецьких суден під час пошуків ними косяків риби, придатних для морського промислу.

Розмінування морської акваторії від плавучих, якірних і донних мін із використанням допоміжного плавучого засобу та кінематичного проектування здійснюють у такій послідовності. Катер-тралівник із завантаженими на нього допоміжною пошуковою апаратурою та засобами підірвання виявлених мін заходить в центральну частину виділеної йому для пошуків мін ділянки акваторій моря. Тут він відшвартовує оснащений пошуковою апаратурою допоміжний плавучий засіб, наприклад моторний човен, який відходить від катера-тралівника на відстань:

$$a = R + r,$$

де R – радіус півсфери ефективної пошукової дії гідроакустичної апаратури катера-тралівника;

r – радіус півсфери ефективного пошуку гідроакустичної апаратури ДПЗ.

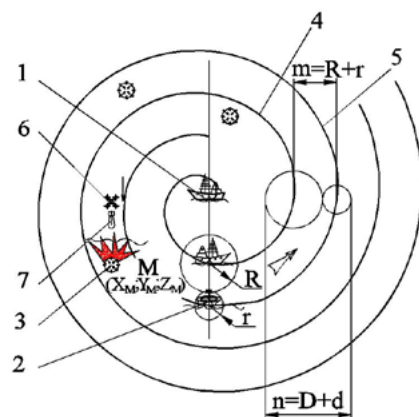


Рис. 1. Траєкторія просторових переміщень за спіраллю Архімеда катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу в пошуках мін

Вилаштувані в одну лінію катеру-тралівнику та допоміжному плавучому засобу у процесі пошуку мін надають переміщення за спіраллю Архімеда, крок якої рівний:

$$n = D + d,$$

де D і d – відповідно діаметри півсфер ефективного пошуку гідролокаційної апаратури катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу.

Центр спіралі Архімеда, за якою переміщуються пошукові судна, умовно облаштований у центрі пошукової ділянки акваторії моря.

За вищевказаних параметрів пошукової апаратури як оптимальні можна було б рекомендувати такі параметри траєкторії пошукових переміщень суден:

- $\alpha = 150$ м – відстань між допоміжним плавучим засобом і катером-тралівником;
- $n = 300$ м – крок спіралі Архімеда просторового переміщення пошукових суден;
- $r = 50$ м – радіус півсфери ефективного пошуку гідролокаційної апаратури допоміжного плавучого засобу;
- $R = 100$ м – радіус півсфери ефективної пошукової дії гідроакустичної апаратури катера-тралівника;
- $n = D + d = 200 + 100 = 300$ м – ширина смуги ділянки пошуку, охопленої двома пошуковим суднами.

Траєкторія руху обох пошукових суден за спіраллю 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 і стрімких поворотів, що не є бажаним для відповідального процесу пошуку мін.

Якщо прийняти за середню допустиму швидкість пошукових переміщень катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу швидкість 9,5–11 вузлів, тобто 18–20 км/годину, то за годину цими двома пошуковими суднами за просторових їх переміщень за спіраллю Архімеда буде обстежено приблизно шість квадратних кілометрів акваторії моря.

У разі виявлення будь-яким із пошукових суден плаваючої, якірної чи донної міни обхід ними території за спіраллю Архімеда призупиняють. За відповідною командою з командного пункту катер-тралівник і допоміжний плавучий засіб розташовуються рівновіддалено обабіч від виявленої міни.

Після цього вмикають водночас на обох суднах спостережну ідентифікаційну апаратуру для ідентифікації виявленого в морі предмета. Саме спостереження та фотографії плаваючого, заякореного чи лежачого на дні моря предмета із двох зміщених на 180° одна від одної точок (суден) надають можливість побудови на екрані монітора комп'ютера командного пункту твердотільної моделі виявленого об'єкта.

Якщо знайдений на поверхні чи у глибині моря предмет усе ж таки виявиться міною, беруться до її знешкодження. Для цього насамперед за допомогою відповідної програми уточнюють координати розташування даної міни. Спеціальною обчислювальною програмою вмикають алгоритм послідовності уточнення координат міни засобами кінематичного проектування. Класичний термін «кінематичне проектування» передбачає можливість проектування, у якому всі або окремі його складники, а саме центр проектування, об'єкти проектування та носії проєкцій («картинна» площина), можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі та часі.

Під час пошуків мін із використанням кінематичного проектування розрахунковою програмою передбачено виконання таких етапів. На першому етапі в точці A , що символізує закінчення гідроакустичної пошукової випромінюючої антени катера-тралівника 1, умовно облаштовують тривимірну ортогональну систему

координат (рис. 2). Вісь x цієї системи координат має початок у точці A та спрямована в напрямку точки B , що символізує місце та координати облаштування другої гідроакустичної випромінюючої антени допоміжного плавучого засобу 2. Вісь z бере початок у точці A , перпендикулярна осі x і спрямована вниз у морські глибини. Вісь y теж започатковується в точці A та перпендикулярна осям x і z . Спрямовані по поверхні водойми осі x та y , як дві взаємно перпендикулярні прямі, утворюють так звану «базову» площину α . На відстані a від точок A і B у площині $\alpha(x;y)$ задають допоміжну точку з координатами $C(a/2;0,87a;0)$. Задавши глибину H , що перевищує в 1,2–1,5 раз орієнтовну глибину залягання міни, на перпендикулярах до базової площини α в точках A , B і C у напрямку морських глибин установлюють точки M , N і P . Ці три точки M , N та P задають у морських глибинах чи просторі дна «картинну» площину $\beta(N;M;P)$, яка паралельна базовій площині $\alpha(A;B;C)$ і віддалена від неї на відстань H , тобто $H=AM=CN=BP$; $\alpha(ABC)//\beta(MNP)$ (рис. 2). Розташування «картинної» площини β є уявним і необхідним лише для розрахунків координат. Тому ця «картинна» площина може бути заданою як у товщі води, так і у глибинах морського дна чи дна водойми. Це усуває небезпеку впливу на точність розрахунків координат за кінематичного проєктування відбитих від дна водойми хибних сигналів ехолотів. І це є суттєвою перевагою застосування для пошуку мін засобів кінематичного проєктування.

На другому етапі, увімкнувши одночасно гідроакустичні пошукові системи катера-тралівника 1 та допоміжного плавучого засобу 2, спрямовують в очікуваному напрямку розташування виявленої міни пошукові хвилі (рис. 2). На моніторах пошукових систем фіксують напрям (азимут) проєктуючих променів, що проходять від кожної гідроакустичної пошукової системи через точку просторового розташування знайденої міни, та кути їх нахилу до базової площини α , тобто $\gamma = p_1 \wedge \alpha$ та $\sigma = p_2 \wedge \alpha$. Окрім того, для повноцінної координатної прив'язки проєктуючих променів до запровадженої системи координат для кожного із проєктуючих променів p_1 та p_2 визначають і кут його нахилу до лінії a , що з'єднує один з одним катер-тралівник 1 та ДПЗ. Тобто $\delta = p_1 \wedge AB$, $\varphi = p_2 \wedge AB$ (рис. 2).

За координатами точок розташування пошукових антен і кутами γ , σ , δ та φ нахилу проєктуючих променів до базової площини α та лінії a , що з'єднує обидві пошукові системи, на комп'ютері командного пункту відображають обидва проєктуючі промені p_1 та p_2 . Програмним забезпеченням зводять проєктуючі промені до взаємного їх перетину в центральній частині виявленої міни (точка M на рис. 2). Зведені до перетину один з одним проєктуючі промені p_1 та p_2 формують площину $\gamma(p_1;p_2)$, яка перетинає базову α та «картинну» β площини за двома паралельними лініями a і b .

На третьому етапі комп'ютерна програма прораховує координати точок $F = p_2 \cap \beta$ та $T = p_1 \cap \beta$ перетину проєктуючих променів p_1 і p_2 з картинною площиною β . А також визначає відстань b між точками перетину проєктуючих променів із «картинною» площиною β , тобто $b = |FT|$.

Точку перетину проєктуючого променя з «картинною» площиною β шукають аналітичним методом. За аналітичного методу пошуку точки перетину задають аналітичне рівняння проєктуючого променя як рівняння прямої лінії, що проходить через відому точку (A або B) із заданими координатами під відомим кутом

нахилу до «базової» площини α . Також задають аналітичне рівняння «картинної» площини β , що проходить через три точки M , N і P із відомими координатами. Точкою перетину прямої із площиною в цьому випадку буде шукана точка, координати якої одночасно задовольняють і рівняння прямої, і рівняння площини.

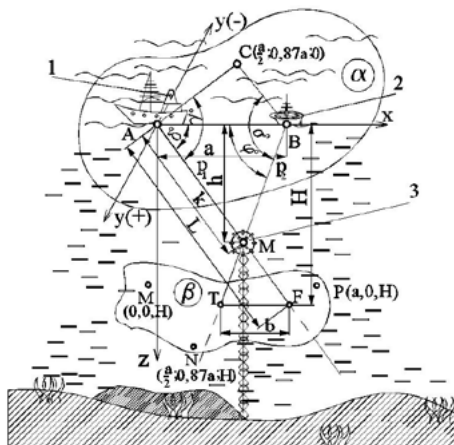


Рис. 2. Принципова схема використання кінематичного проєктування для пошуку та визначення координат морських якірних мін

На четвертому етапі із двох подібних трикутників $\triangle ABM$ і $\triangle FTM$, утворених пересічними променями, вираховують координати їхньої спільної вершини – точки M . Це точка M , у якій натепер розміщена шукана міна (рис. 2). З розв’язків вказаних трикутників визначають два вагомі для успішного пошуку міни параметри, а саме глибину розміщення міни h і віддаленість k цієї міни від катера-тралівника. Для цього використовують математичні залежності:

$$k = h\sqrt{1 + (Ct\varphi)^2}; \quad h = H\left(1 - \frac{b}{a+b}\right), \quad (1)$$

де k – віддаль від катера-тралівника до виявленої міни;
 h – глибина розташування міни щодо поверхні водного плеса водойми чи моря;
 H – задана відстань від поверхні моря до «картинної» площини;
 a – відстань між катером-тралівником і ДПЗ;
 b – відстань між точками перетину проєктуючих променів (азимутів) гідроакустичних пристроїв із «картинною» площиною;
 φ – кут нахилу проєктуючого променя (азимута) гідроакустичного пристрою до лінії a .

Для перевірки правильності здійснених розрахунків, маючи координати точок A та B , а також точок $F = p_2 \cap \beta$ і $T = p_1 \cap \beta$ перетину проєктуючих променів p_1 і p_2 із картинною площиною β , тобто координатами точок на кінцях відрізка проєктуючого променя, записують рівняння прямої лінії, що проходить через дві точки з відомими координатами. Тобто $A \in p_1$; $A(x_A, y_A, z_A)$; $T \in p_1$; $T(x_T, y_T, z_T)$; $p_1 \subset l_1$.

Тоді рівняння прямої l_1 матиме вигляд:

$$\frac{x - x_A}{x_T - x_A} = \frac{y - y_A}{y_T - y_A} = \frac{z - z_A}{z_T - z_A}. \quad (2)$$

Аналогічно для проєктуючого променя p_2 , що проведений через допоміжний пошуковий засіб (точка В) і виявлену міну (точка М) і точку F з відомими координатами $F(x_F, y_F, z_F)$, рівняння прямої l_2 , що проведена через проєктуючий промінь p_2 , матиме вигляд:

$$\frac{x-x_B}{x_F-x_B} = \frac{y-y_B}{y_F-y_B} = \frac{z-z_B}{z_F-z_B}. \quad (3)$$

Формують систему рівнянь із двох рівнянь проєктуючих променів і спільним їх рішенням шукають координати точки М, у якій розміщена виявлена міна. Якщо виявлені координати точки перетину один з одним обох проєктуючих променів збігаються у вищевідзначених кроках перевірок, то роблять висновок про відповідність розрахованих координат розміщення міни їх реальному значенню.

Командний пункт, за можливості, знов уточнює тип міни, кінцево проаналізує безпеку вибуху міни для довкілля, для людей і використовуваної пошукової техніки, дає команду на ліквідацію міни. Тоді катерові-тральнику доведеться протралити зону моря, де розміщена міна, і знешкодити її. Або ж використати інші, більш потужні сучасні засоби ліквідації мін. Як-от плавучі безпілотні апарати, оснащені керованими торпедами-ліквідаторами, чи так звані роботи-камікадзе. Їх самопідрив на виявленій міні руйнує її оболонку, міна або вибухає, або руйнується, і вже не становить загрози для людей і плавзасобів.

Отже, у разі використання даного методу пошуку та ліквідації мін практично немає потреби в безпосередньому контакті людей командного пункту катера-тральника з небезпечною для їхнього життя міною.

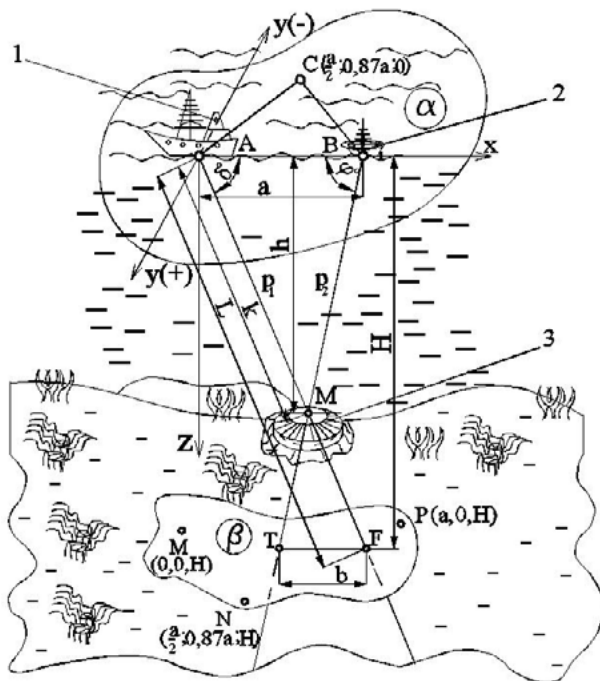


Рис. 3. Принципова схема використання кінематичного проєктування для пошуку та визначення координат донних мін

На рис. 3 відображена принципова схема використання кінематичного проектування для пошуку та визначення координат донних мін. Тут збережено всі буквенні позначення окремих елементів пошукової схеми, що і на рис. 2. Усі етапи визначення та розрахунку координат донних мін із застосуванням специфічних особливостей кінематичного проектування тут збігаються з вищеописаними етапами пошуку якірних мін. Відмінність полягає лише в тому, що в разі пошуку якірних мін «картинна» площина β умовно призначається у товщі води, а в разі пошуку донних мін вона умовно розташовується в товщі морського дна.

На рис. 4 відображена блок-схема послідовності розрахунків і побудови комп'ютерної програми для визначення координат виявленої пошуковими плавучими засобами міни. Розрахункова блок-схема передбачає введення табличних вхідних даних (таблиця 1), до яких належать модель і кількість пошукових суден, характеристика їх просторового розташування та переміщень, ширина пошукової смуги під час пошуків мін.

Безпосередньо розрахунок передбачає декілька етапів. Зокрема, визначення відстані від базового катера-тралівника до допоміжного плавучого засобу, розрахунок координат проєкцій проєктуючих променів пошукової апаратури суден, визначення

Таблиця 1

Табличні вхідні дані блок-схеми розрахунку координат виявлених мін

№	Назва заданого параметра	Позначення та числове значення заданого параметра
1.	Кількість пошукових плавучих засобів	Модель катера-тралівника – SAM-05. Кількість допоміжних плав. засобів – один.
2	Траєкторія пошукових переміщень плавучих засобів	Спіраль Архімеда. Міжвиткова відстань, або крок спіралі: $n = 300$ м, відстань між суднами: $a = 150$ м.
3	Ширина смуги пошукової ділянки	$n = 300$ м
4	Радіус півсфери ефективної пошукової дії гідроакустичної апаратури катера-тралівника	$R = 100$ м
5	Радіус півсфери ефективного пошуку гідроакустичної апаратури допоміжного плавучого засобу	$r = 50$ м

Таблиця 2

Параметри проєктуючих променів в обраній системі координат (рис. 2, 3)

№	Проєктуючі промені гідроакустичної пошукової апаратури катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу (ДПЗ)		
	Елементи просторового розташування проєктуючих променів і їх проєкцій	Катер-тралівник	ДПЗ – допоміжний пошуковий плавучий засіб
1	Довжина l_i проєктуючого променя	$p_1 = l_1 = TA$	$p_2 = l_2 = FB$
2	Кути нахилу проєктуючих променів p_i до осі x	$\delta^\circ = p_1 \wedge x$	$\varphi^\circ = p_2 \wedge x$
3	Кути нахилу проєктуючих променів до поверхні моря (горизонтальної площини проєкцій $^1\Pi$);	$\gamma^\circ = p_1 \wedge ^1\Pi$	$\sigma^\circ = p_2 \wedge ^1\Pi$

довжини генерованих проєктуючих променів, спрямованих на виявлену міну тощо (таблиця 2).

На підставі цих даних розраховують координати міни, перевіряють їх точність. У разі розбіжностей прорахованих щодо кожного з пошукових суден даних уточнюють кути нахилу та довжини проєктуючих променів радіолокаційної станції катера-тралівника й аналогічні дані допоміжного пошукового судна (рис. 4).

Звичайно, як і більшість інженерних рішень, дана пропозиція щодо вдосконалення методів розмінування акваторії моря та річок має як переваги, так і вагомні недоліки. Незаперечно найвагомішим із недоліків є те, що метод придатний лише для мін, корпуси яких спроможні відбивати сигнали пошукової апаратури. Навіть звичайні донні міни, що тривалий час пролежали на морському чи річковому дні та вкрились товстим шаром нанесеного течіями намулу чи піску, можуть стати «невидимими» для пошукової апаратури суден. Не меншу проблему становлять і металеві уламки конструкцій ушкоджених і затонулих кораблів, які досить густо вкривають морське дно, особливо на традиційних шляхопроводах і рейдах. Тут інша ситуація – ці уламки досить легко прийняти за металеві корпуси мін і згаяти час і технічні засоби на намагання їх «розмінувати».

Іншим відчутним недоліком описаного методу розмінування є його критична залежність від погодних умов. Вітер із швидкістю понад 7–8 м/с, збурення хвиль заввишки понад 1,5 метри, надмірна задимленість повітря, інтенсивні дощові чи

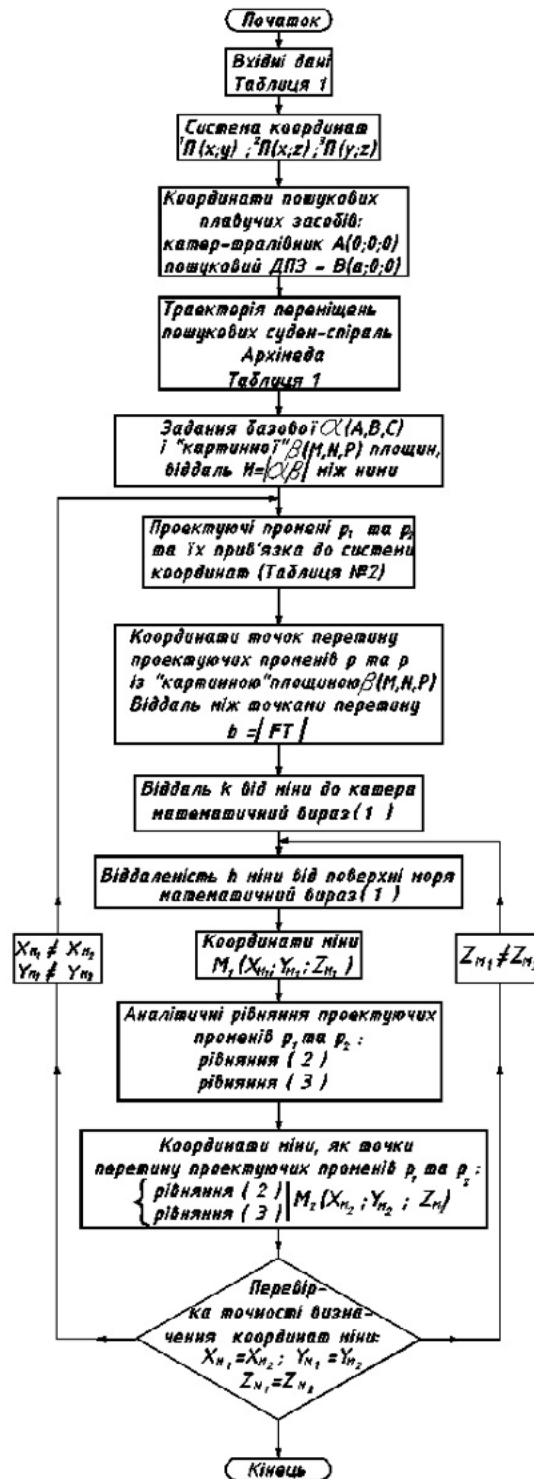


Рис. 4. Блок-схема розрахунків координат виявлених якірних або донних мін

снігові опади – усе це унеможлиблює використання «легких» моторизованих човнів, що пропонуються для застосування як допоміжні пошукові плавучі засоби.

Недоліком є й те, що виявлені даним методом плавучі міни неможливо позбавити плавучості чи зафіксувати на місці їх виявлення. Тому ці плавучі міни необхідно відразу ж після виявлення ліквідувати. Інакше вони можуть бути віднесені вітрами чи течіями в інші ділянки, їх пошуки доведеться розпочинати знову.

Та є дві незаперечні переваги, які властиві методиці застосування кінематичного проектування для пошуку мін. Передусім це цілковите 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-тралівників і водолазів.

Іншою вагомою перевагою даного методу розмінування є відносно висока продуктивність і швидкість його пошукових робіт. Широка смуга охоплення двома суднами пошукової території, їх узгоджені переміщення за спіраллю Архімеда – усе це сприяє ефективним пошуковим роботам. До того ж це усуває наявність необстежених ділянок, що досить часто трапляється за зворотньо-поступальних переміщень пошукових суден.

Також як позитивний аспект можна відзначити зменшені як мінімум у півтора рази пошукові переміщення катера-тралівника, отже, і пропорційно зменшені витрати палива для роботи його привідних двигунів. Його переміщення дублюються допоміжним пошуковим судном, яке суттєво менше споживає палива. Незаперечно, це компенсує витрати на придбання й оснащення пошуковою апаратурою допоміжного пошукового судна, на створення необхідного програмного забезпечення для керування пошуковими переміщеннями суден тощо. Адже для самостійного протралювання аналогічної за площею в 6 км² ділянки моря катерів-тралівнику довелося б за годину проплисти приблизно 10 додаткових кілометрів, витратити на це приблизно 20 літрів палива вартістю майже 1 000 гривень. А таких ділянок упродовж одного робочого дня буде не менше 5–6, тобто це щоденна економія 5–6 тисяч гривень.

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

Висновки

1. Стрімкий розвиток науки та техніки на межі тисячоліть суттєво вдосконалив військове 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 й інші досягнення перетворили сучасні міни з «пасивного очікувача» на потужні гіперактивні автономні руйнівники надводних і підводних плавучих засобів.

2. Серед різновидів сучасного мінного озброєння, яке використовують на акваторіях річок і морів, якірні та донні міни найпотужніші. До того ж вони найпідступніші через складність їх своєчасного виявлення та знешкодження.

3. Суть запропонованого методу полягає в застосуванні для пошуку якірних і донних мін катером-тралівником додаткового плавучого пошукового засобу.

Наприклад моторизованого човна, оснащеного відповідною пошуковою апаратурою. Результати пошуків цими суднами мін зведуться до розрахунків координат виявлених мін засобами кінематичного проектування. Використання малогабаритних економних додаткових пошукових суден удвічі зменшує потребу в пошукових переміщеннях катерів-тралівників. Це відчутно здешевлює пошукові роботи, підвищує їх безпеку для командного складу катерів-тралівників.

4. Серед когорти можливих траєкторій переміщень додаткового пошукового судна та катера-тралівника під час пошуків морських мін рекомендовано як оптимальну траєкторію пошукових переміщень групою, наприклад із двох вилаштованих у ряд суден, за спіраллю Архімеда з міжвитковим кроком, пропорційним кількості пошукових суден і радіусу ефективної дії їхньої пошукової апаратури.

5. Незважаючи на недоліки методу пошуку якірних і донних мін із застосуванням засобів кінематичного проектування, що полягають у його підвищеній чутливості до метеорологічних погодніх умов, а особливо до вітрового навантаження на легкі пошукові судна, усе ж даний метод має перспективу широкого практичного застосування. Зумовлено це тим, що в разі його використання передусім усувається небезпека контакту людей із вибухонебезпечною міною, також застосування даного методу суттєво зменшує потребу в пошукових переходах катера-тралівника, забезпечує тим самим відчутну економію палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонов Р. БПЛА допоможуть виявити нездетонувавши боєприпаси. *Мілітарний* : вебпортал. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vyuvavlyaty-nezdetonuvavshi-boeygrupasy/> (дата звернення: 18.08.2022).
2. Вертолітний трал на підводних крилах Harris МК-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 Національного лісотехнічного університету України*. 2015. Вип. 258. С. 353–359.
4. Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій / Ю.Ф. Кучеренко та ін. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 1. С. 25–30. DOI: 10.30748/soivt.2018.53.03.
5. Визначення координат безпілотних літальних апаратів / І.С. Афтаназів та ін. *Сучасні дослідження у світовій науці* : матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 15–17 травня 2022 р. Львів, 2022. С. 380–388.
6. Determination of coordinates of unmanned aircrafts by means of kinematic projection / I.G. Svidrak et al. *Mathematical Modeling and Computing*. 2022. Vol. 9. № 2. P. 459–469. <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459>.
7. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін методами кінематичного проектування апаратів / І.С. Афтаназів та ін. *Розвиток транспорту*. 2022. Вип. 3 (14). С. 143–165.

8. Визначення просторових координат точок панорамного знімання / І.Г. Свідрак та ін. *Збірник наукових праць Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького*. 2014. Вип. 2. С. 136–140.
9. До питання розрахунку точності визначення координат точок під час аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів / Р.В. Шульц та ін. *Інженерна геодезія*. 2015. Вип. 62. С. 124–136.
10. Локаційні задачі кінематичних проєкційних відображень. Пр. Льв. / О.П. Калиновська та ін. *Міжнародна науково-методична конференція з геометричного моделювання, інженерії та комп'ютерної графіки*. Львів, 1994. С. 37.
11. 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.
12. Розробка методики підвищення точності визначення просторових координат точок об'єктів при аерозніманні з БПЛА / В. Глотов та ін. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Львів, 2020. Вип. 92. С. 45–54. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.045>.

REFERENCES

1. Antonov, R. (2022). UAVs will help detect unexploded ordnance [BPLA dopomozhut vyjavyty nezdetonuvavshi boieprypasy]. *Militaryni: portal*. Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vyyavlyaty-nezdetonuvavshi-boieprypasy/> [in Ukrainian].
2. Harris MK-105 hydrofoil trawler [Vertolitnyi 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 mistsevesti]. *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. Determining the coordinates of unmanned aerial vehicles [Vyznachennia koordynat bezpilotnykh litalnykh aparativ]. *Suchasni doslidzhennia u svitovii nautsi, materialy II Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii* (Lviv, 15–17 travnia, 2022). Lviv [in Ukrainian].

6. 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. <https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.459> [in English].
7. Aftanaziv, I.S., Shevchuk, L.I., Stocko, R.Z., Svidrak, I.G., Strohan, O.I., Strutynska, L.R. (2022). Search by unmanned aerial vehicles for floating mines using kinematic design methods [Poshuk bezpilotnyh lital'nyh aparatamy plavajuchyh min metodamy kinematychnogo proektuvannja] *Rozvytok transportu*, 3 (14), 143–165 [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., Krelshtein, 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. Kalynovska, O.P., Glogovskyj, V.V., Pulkevych, I.H. (1994). Location problems of kinematic projection mappings [Lokacijni zadachi kinematychnykh proekcijnykh vidobrazhen] *Mizhnar. nauk.-metod. konf. z geometrychnogo modeljuvannja, inzh. ta komp. graf.* 37 [in Ukrainian].
11. 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 dlja 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].
12. 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 BPLA]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 92, 45–54. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.045-54> [in Ukrainian].