

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 621.9.048.6

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08>

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗМІНОВУВАЛЬНОГО МІННО-ПОШУКОВОГО КОМПЛЕКСУ

І.С. Афтаназів¹, Л.І. Шевчук², О.І. Строган³, Л.Р. Струтинська⁴

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 технології 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

⁴к.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. Представлено результати дослідження, спрямованого на вдосконалення методів пошуку та пошукового устаткування для виявлення морських мін.

Запропоновано розширити пошукові можливості мінно-пошукових розміновувальних комплексів із транспортованою катером-тралівником гірляндю понтонів-імітаторів сигналів кораблів. Для цього гірлянду понтонів-імітаторів пропонується доповнити додатковим пошуковим плавучим блоком, оснащеним гідроакустичною пошуковою апаратурою. Поряд із підвищенням ймовірності виявлення мін, що не зреагували на сигнали імітаторів, це дозволяє підвищити точність встановлення координат якірних та донних мін. З'ясовано, що оптимальною траєкторією пошукових переміщень катера-тралівника із гірляндю понтонів-імітаторів сигналів є траєкторія руху по спіралі Архімеда. Встановлено, що найдієвіший із варіантів знешкодження виявлених плавучих мін це їх підірвання боєзарядами, скинутими із літального безпілотної ліквідатора.

Досліджено, що для уточнення координат розташування плавучих, якірних та донних мін доцільною і найефективнішою для застосування є методика кінематичного проектування. Розроблено алгоритм використання кінематичного проектування для пошуку мін, який передбачає формування базової площини та призначення у товщі морських глибин "картинної" площини проєкцій, на котру проектуватимуться проєктуючі промені. У якості об'єкту проектування тут

застосовано розшукувану міну. Встановлено, що застосування для пошуку мін методики кінематичного проектування на розміновувальних комплексах із транспортованою катером-тралівником гірляндою понтонів-імітаторів сигналів кораблів дозволяє не тільки здійснювати розвідувальні роботи без участі в пошуках людей, а і підвищити продуктивність та швидкість пошукових робіт.

Ключові слова: морська міна, розмінування, катер-тралівник, додатковий пошуковий блок, понтони-імітатори сигналів, кінематичне проектування, координати, пошук.

IMPROVEMENT OF THE MINE EXPLOSION AND EXPLORATION COMPLEX

I.S. Aftanaziv¹, L.I. Shevchuk², O.I. Strohan³, L.R. Strutynska⁴

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

⁴Candidate of Technical Sciences,
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. The results of a study aimed at improving search methods and search equipment for the detection of sea mines are presented.

It is proposed to expand the search capabilities of mine-search and demining complexes with a garland of pontoons imitating ship signals transported by a trawler boat. For this, it is proposed to supplement the garland of imitation pontoons with an additional search floating unit equipped with hydroacoustic search equipment. Along with increasing the probability of detecting mines that did not respond to simulator signals, it allows to increase the accuracy of setting the coordinates of anchor and bottom mines. It was found that the optimal trajectory of search movements of a trawler boat with a garland of signal-imitating pontoons is the trajectory of movement along the Archimedean spiral. It has been established that the most effective option for neutralizing detected floating mines is their detonation with warheads dropped from a liquidator flying drone.

It has been investigated that the method of kinematic design is appropriate and most effective for specifying the coordinates of the location of floating, anchor and bottom mines. An algorithm for the use of kinematic projection for the search for mines has been developed, which involves the formation of a base plane and the designation of a "picture" plane of projections on which the projecting rays will be projected in the depth

of the sea. A wanted mine is used as a design object here. It has been established that the use of kinematic design techniques for mine search on demining complexes with a garland of pontoons imitating ship signals, transported by a trawler boat, allows not only to carry out reconnaissance work without participation in the search for people, but also to increase the productivity and speed of search work.

Key words: *sea mine, demining, trawler boat, additional search unit, signal simulator pontoons, kinematic design, coordinates, search.*

Вступ. Інженерна думка та фантазія перетворили здавалось би невибагливий та простий смертоносний виріб, яким є традиційна морська міна, на витвір мистецтва. Теперішні певні різновиди морських мін, наприклад, самотранспортована донна міна–торпеда Mk.67 SLMM (виробництво США), можуть самотужки допливати до завчасно заданих їм координатами місць мінування. Чи будучи скинутими із літаків самотужки пролітати до 100 кілометрів та м'яко приводнитися і залягти на дно в очікуванні своєї жертви (модель Quickstrike-ER) [1]. Або перебуваючи на морському дні в режимі тривалого очікування у необхідний момент прореагувати, наприклад, на характерний шумовий фон корабля чи підводного човна, стартувати і торпедувати цей плавучий засіб (модель Mark 60 Captor виробництва США або аналогічна модель протичовнової міни-торпеди ПМК-2 виробництва Росії). Міни-пастки, спроможність до цифрової обробки складних командних сигналів, нечутливі до електромагнітних випромінювань пластикові корпуси та надпотужні сучасні вибухові речовини, маскування під морські валуни та донне каміння – це прояви інженерного мистецтва оздоблення та оснащення морських мін. Усе це притаманні сучасним мінам тонкощі інженерної думки їх творців, спрямовані на не лише маскування мін від несвоєчасного їх виявлення, а і 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-тралівників та дистанційно керованих підводних торпед чи спеціальних роботів-ліквідаторів мін їх самопідриванням.

Аналіз літературних джерел. Найефективнішими для розмінування значних площ морської акваторії як у минулому, так і на даний час являються морські самохідні трали. Це, переважно, катери, корпуси яких спеціально адаптовані до того, щоб витримувати навантаження від вибухів мін [2]. Історія використання катерів-тралівників для знешкодження плаваючих та якірних мін сягає понад століття. Започаткування їх використання практично співпадає із періодом початку активного мінування морських водойм. Сучасний катер-тралівник – це, переважно, розбірний понтонний катер зі швидкістю руху 6–10 вузлів, який можна швидко перетранспортувати літаком в потрібну точку світу. Прикладом сучасних катерів-тралівників являються шведський SAM-3 і американський SAM-05. Однак у сьогоденні навіть такий давній метод розмінування зазнає модернізації та вдосконалення. Переважно ці вдосконалення полягають у оснащенні тралівників безпілотними плаваючими та літальними апаратами для пошуків мін, до того ж оснащених зарядами із дистанційним керуванням для їх підривання.

Для пошуку та знешкодження самонавідних мін найчастіше на катер-тралівник встановлюють різноманітні імітатори шумів, вібрацій та магнітних полів, що роблять його схожим для мін на типовий корабель. У роботі [1] відзначено, що оснащена рядом понтонів-імітаторів сигналів та шумових двигунів така «гірлянда» спроможна доволі активно збурювати різноманітні самонавідні міни, провокуючи їх спливання на поверхню для ураження уявної цілі. Ті ж міни, що спливали на поверхню моря, доволі легко захопити тралом та знешкодити. Або ж дистанційно підірвати, наприклад, дроном-ліквідатором із підвісним дистанційно керованим боєзарядом.

Поряд з тим не втрачають своєї актуальності наукові пошуки в руслі вдосконалення існуючих та створення новітніх більш прогресивних методів пошуку мін. Так автори робіт [3, 4, 5] схиляються до переконання, що найефективнішим було б використання для пошуків морських мін літальних апаратів. Розширити їх технологічні можливості, на переконання авторів роботи [5], могли б методики, що базуються не тільки на можливостях пошукової апаратури, а і на застосуванні математичного апарату та практично невичерпних спроможностей сучасної обчислювальної техніки [3, 4, 5].

Автори робіт [6, 7] відзначають, що певні перспективи у цьому контексті спостерігаються в спроможності долучити до пошукових методів визначення координат морських мін методик сучасної нарисної геометрії, а саме її складової, що відома під назвою «кінематичне проектування». Під «кінематичним проектуванням (відображенням)» розуміють проектування, при якому всі його складові елементи, а саме центр проектування, фокальні фігури проектуючих комплексів та конгруенцій, об'єкти проектування (прообрази) та носій проекцій («картинна площина») можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі і часі [8, 9, 10].

Тому метою даного дослідження є розширення технологічних можливостей катерів-тралівників при пошуках та знешкодженні ними мін шляхом підвищення точності визначення координат просторового розташування мін засобами кінематичного проектування.

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

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

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

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- розробка методики визначення координат просторово-глибинного розташування морських мін засобами кінематичного проектування;
- створення принципової схеми оптимальних переміщень пошукового катера-тралівника із пришвартованими до нього понтонами-імітаторами сигналів та блоком пошукової гідроакустичної апаратури;
- створення алгоритму програмного забезпечення для розробки програми розрахунку і узгодження даних пошукових плавучих засобів для визначення точних координат місця розташування міни.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш яскравим прикладом успішного використання кінематичного проектування для відслідковування траєкторій та координат просторових переміщень рухомих об'єктів є успішні дослідження геометрів НУ «Львівська політехніка» по визначенню координат безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [11, 12]. У результаті цих досліджень створена теоретична база математичного апарату розрахунку засобами кінематичного проектування координат та траєкторій просторових переміщень ворожих диверсійно-розвідувальних БПЛА. Експериментальна перевірка підтвердила високу ефективність та точність визначення просторових координат рухомих об'єктів засобами кінематичного проектування [13, 14].

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 відображена оптимальна траєкторія пошукових переміщень катера-тралівника із пришвартованими до нього понтонами-імітаторами акустичних, електромагнітних та шумових сигналів, ланцюг яких доповнено розташованим в кінці плавучим пошуковим блоком із гідроакустичною пошуковою апаратурою.

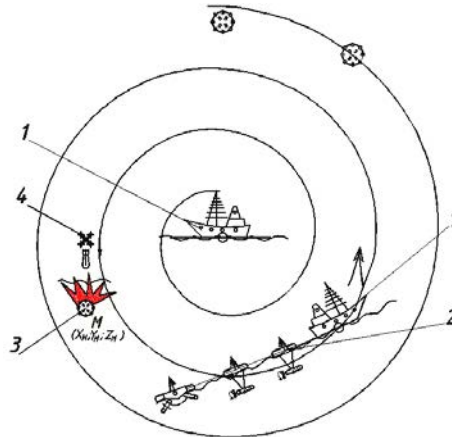


Рис. 1. Траєкторія просторових переміщень пошукового катера-тралівника із гірляндою понтонів-імітаторів сигналів по спіралі Архімеда

У випадку виявлення будь-яким із пошукових гідроакустичних апаратів плаваючої міни 3 переміщення пошукового судна по спіралі Архімеда продовжують. Але по відповідній команді із командного пункту катера-тралівника 1 для ідентифікації плаваючої міни 3 спрямовують оснащений відеокамерою та боезарядом безпілотний літальний апарат типу дрона-ліквідатора 4 середньої вантажопідємності. Якщо виявлений на поверхні моря предмет все ж таки виявиться плаваючою міною 3, її знешкоджують. Саме для цього і використовують дрон-ліквідатор 4 із дистанційно керованим боезарядом (рис. 1).

У випадку виявленні пошуковою апаратурою якірної чи донної міни обхід території по спіралі Архімеда призупиняють. По відповідній команді із командного пункту катера-тралівника 1 та допоміжний плавучий пошуковий блок 3 із гідроакустичною апаратурою розташовують більш-менш рівновіддалено по два боки від виявленої міни 7. Ідентифікують виявлений предмет і якщо це виявиться

міною - приступають до її знешкодження. Для цього, перш за все, використовуючи відповідну програму, уточнюють координати розташування даної міни. Спеціальною обчислювальною програмою вмикають алгоритм послідовності уточнення координат міни засобами кінематичного проектування.

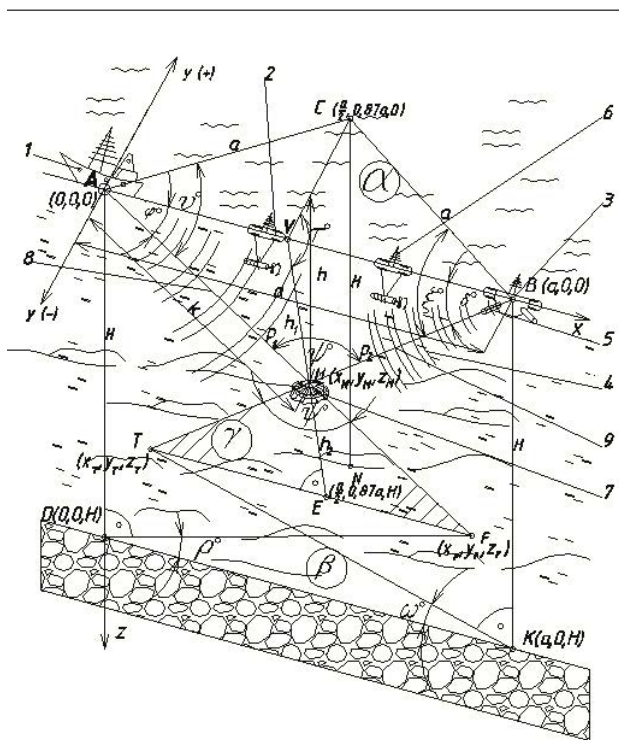


Рис. 2. Принципова схема використання кінематичного проектування для пошуку та визначення координат донних мін

Специфічні особливості пропонованого способу пошуку катером-тралівником морських мін із використанням пристроїв-імітаторів та додаткового блоку із пошуковою гідроакустичною апаратурою відображено на рис. 2. Катер-тралівник 1 із пришвартованими до нього понтонами 2, на яких встановлені імітатори акустичних, магнітних та електромагнітних сигналів, а також заключним у гірлянді понтонів плавучим блоком 3, здійснює переходи по пошуковій ділянці морської поверхні. Виявлені катером-тралівником плавучі та якірні міни ліквіднуються, наприклад, безпілотним плавучими роботами-камікадзе (на рис. 2 не відображено). Аналогічно знешкоджуються і самонавідні міни-торпеди, що зреагували на сигнали встановлених на понтонах 2 пристроїв-імітаторів та спливли з морського дна для ураження уявних цілей. Ті ж, переважно донні, міни що не зреагували на сигнали імітаторів, розшуковуються за допомогою встановленої на катері-тралівнику 1 та плавучому блоку 3 гідроакустичної апаратури. Випромінюючі та сприймаючі акустичні сигнали 4 антени 5 цієї пошукової апаратури занурені у воду. Катер-тралівник 1 і пошуковий плавучий блок 3 знаходяться у постійному радіозв'язку між собою, забезпечуваному антенами 6, для обміну інформацією

про виявлені міни. При виявленні пошуковою апаратурою катера-тралівника 1 чи плавучого блоку 3 міни 7 інформація про це поступає на обчислювальний центр (на рис. 2 не відображено) і командний склад катера-тралівника приступає до її знешкодження. Перш за все, уточнюють координати міни 7, використовуючи методику кінематичного проектування. Для цього на моніторі обчислювальної техніки, де уявно відображено антени 5 пошукової гідроакустичної апаратури катера-тралівника 1 та пошукового плавучого блоку 3, запроваджують трьохвісну ортогональну Декартову систему координат. Початок координат цієї системи (точка A) призначають на антені 5 катера-тралівника 1. Вісь x цієї системи координат спрямовують її додатнім напрямком від пошукової антени 5 катера-тралівника 1 до пошукової антени плавучого блоку 3. Вісь z спрямовують з початку координат (точка A) перпендикулярно поверхні моря в напрямку морського дна, а вісь y спрямовують перпендикулярно осям x та z вздовж поверхні моря. Спрямовані на виявлену міну 7 гідроакустичні сигнали 4 замінюють на екрані монітора на проєктуючі промені p_1 та p_2 . Проєктуючий промінь p_1 на рис.2 позначено позицією 8 і він проведений від пошукової антени катера-тралівника 1 через виявлену міну 7 (точка M на рис. 2) вглиб морського дна. Проєктуючий промінь p_2 на рис. 2 позначено позицією 9 і він проведений від пошукової антени плавучого блоку 3 через виявлену міну 7 (точка M на рис. 2) вглиб морського дна. Користуючись азимутом визначають кути нахилу проєктуючих променів p_1 та p_2 до осі x , відповідно $\phi^\circ = p_1 \wedge x$ та $\delta^\circ = p_2 \wedge x$, та кути їх нахилу до поверхні моря, відповідно $\nu^\circ = p_1 \wedge \alpha$ та $\zeta^\circ = p_2 \wedge \alpha$, де $\alpha = x \cap y$ – площина поверхні моря. У площині поверхні моря $\alpha(x; y)$ задають допоміжну точку C , яка рівновіддалена на віддаль a від катера-тралівника 1 (точка A) та пошукового блоку 3 (точка B), де $a=AB$ – віддаль між пошуковими антенами. Три точки A , B та C формують у площині поверхні моря рівносторонній трикутник $\Delta ABC \subset \alpha$, який задає базову площину α . Два проєктуючих промені $p_1 = AM$ та $p_2 = BM$, що перетинаються між собою в точці M розташування міни 7, формують площину $\gamma^\circ = p_1 \cap p_2$, яка нахилена під кутом $\tau^\circ = \alpha \wedge \gamma$ до площини поверхні моря.

Опустивши з точок вершин трикутника ΔABC перпендикуляри вглиб моря, довжина H яких в 1,5–2 рази перевищує глибину моря в місці розташування міни 7, у товщі морського дна задають допоміжну «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$. Базова площина $\alpha(\Delta ABC)$ паралельна «картинній» площині $\beta(\Delta DKN)$, віддалена від неї на $H = |\alpha\beta| = AD = BK = CN$.

На наступному етапі аналітичним або проєкційним рішенням шукають координати точок перетину проєктуючих променів p_1 та p_2 із «картинною» площиною $\beta(\Delta DKN)$. При аналогічному рішенні у запровадженій системі координат, володіючи координатами точок $A(O, O, O)$ та $B(a, o, o)$ та знаючи кути нахилу проєктуючих променів до осі x та базової площини $\alpha(\Delta ABC)$, задають рівняння проєктуючих променів p_1 та p_2 , а також рівняння «картинної» площини $\beta(\Delta DKN)$ як рівняння площини, заданої трьома точками, а саме $D(O, O, H)$, $K(a, o, h)$, $N\left(\frac{a}{2}; 0, 87; H\right)$. Спільним рішенням системи рівняння прямої та рівняння площини знаходять координати точки їх перетину як такі, що задовольняють обидва ці рівняння.

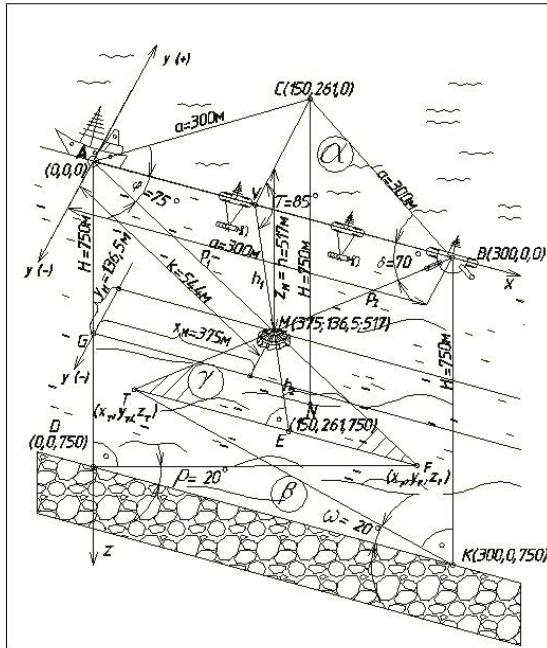


Рис. 3. Приклад розрахункової схеми застосування кінематичного проектування для пошуку та визначення координат донних мін

При проекційному рішенні розглядають прямокутний трикутник ΔADF , у якому відомі катет $AD = H$ та прилеглий кут ϕ° нахилу гіпотенузи $AF = p_1$ до цього катета. У цьому трикутнику точка $F = p_1 \cap \beta$ – це точка перетину, проектуючого променя p_1 із картинною площиною $\beta(\Delta DKN)$.

Із ΔADF проектуючий промінь $p_1 = AF = \frac{H}{\cos \phi}$, а довжина його проекції на «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$ $DF = AD \operatorname{ctg} \phi = H \cdot \operatorname{ctg} \phi$.

Тоді точка F перетину проектуючого променя p_1 із «картинною» площиною матиме координати

$F(x_F; y_F; z_F)$, де $x_F = H \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \cos \rho$, $y_F = H \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \sin \rho$, $z_F = H$, а кут $\rho^\circ = \angle DF \wedge \Pi(x; z)$.

Тут ρ° – кут між площиною прямокутного трикутника ΔADF із гіпотенузою $AF = p_1$ та площиною проєкцій прийнятої системи координат $\Pi(x; z)$, що утворена перетином осей x та z .

Аналогічно із прямокутного ΔBKT проектуючий промінь $p_2 = BT = \frac{H}{\cos \delta}$, а довжина його проєкцій на «картинну» площину $\beta(\Delta DKN)$ $KT = BK \cdot \operatorname{ctg} \delta = H \cdot \operatorname{ctg} \delta$.

Тоді точка T перетину проектуючого променя p_2 із «картинною» площиною β матиме координати

$$T(x_T, y_T, z_T), \text{ де } x_T = a - H \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot \cos \omega; \quad y_T = y_F; \quad z_T = z_F = H.$$

За відомих координат початку та кінця відрізка TF між двома точками перетину проектуючими променями p_1 та p_2 «картинної площини» β визнають його довжину

$$b = TF = \sqrt{(x_T - x_F)^2 + (y_T - y_F)^2}.$$

У даному випадку при $y_T = y_F$ довжина відрізка $b = TF = |x_T - x_F|$.

На заключному етапі уточнюють координати розташування міни. Розглянуто два подібні трикутники $\triangle ABM$ та $\triangle FTM$, що мають спільну вершину в точці M де розташована міна 7. У цих трикутниках паралельні між собою дві відповідні основи $AB//TF$, однакові кути при спільній вершині в точці M , сторони одного трикутника є продовженням сторін іншого, що підтверджує їх подібність. Сума висот h_1 та h_2 цих трикутників, проведених від спільної вершини у точці M , рівна віддалі між паралельними між собою основами цих трикутників тобто

$$h_1 + h_2 = L = \frac{H}{\sin \tau},$$

де τ° – кут між утвореною пересіченими променями p_1 та p_2 площиною $\gamma(p_1 \cap p_2)$ та базовою площиною $\alpha(x, y)$;

h_1 – висота $\triangle ABM$;

h_2 – висота $\triangle TMF$.

Із подібності трикутників $\triangle ABM$ та $\triangle TMF$ $\frac{h_1}{AB} = \frac{h_2}{FT}$, або при підстановці числових значень $\frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{b}$.

Із розв'язку системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{h_1}{a} = \frac{h_2}{b}, \\ h_1 + h_2 = L. \end{cases}$$

висота трикутника $\triangle ABM$

$$h_1 = \frac{L \cdot a}{a + b},$$

де a та b – основи подібних трикутників $\triangle ABM$ та $\triangle TMF$, що протилежні їх спільній вершині в точці M ;

$L = h_1 + h_2 = \frac{H}{\sin \tau}$ – віддаль між основами a та b подібних трикутників;

H – віддаль між базовою $\alpha(\triangle ABC)$ та «картинною» $\beta(\triangle DKN)$ площинами.

Віддаль $k = AM$ від катера-тралівника I до міни 7 визначається як гіпотенуза прямокутного трикутника $\triangle AMV$

$$k = AM = \frac{h_1}{\sin \phi} = \frac{h}{\sin \tau \cdot \sin \phi},$$

де глибина занурення міни

$$h = \frac{H \cdot a}{a + b}$$

Тоді координати міни у запровадженій системі координат:

$$x_M = \frac{H \cdot a}{a + b} \cdot \frac{\cos \phi \cdot \operatorname{ctg} \rho}{\sin \tau} = h \cdot \frac{\cos \phi \cdot \operatorname{ctg} \rho}{\sin \tau};$$

$$y_M = \frac{h \cdot \cos \phi}{\sin \tau} = \frac{H \cdot a}{a + b} \cdot \frac{\cos \phi}{\sin \tau},$$

$$z_M = h = \frac{H \cdot a}{a + b}$$

Схема прикладу реалізації запропонованого способу пошуку мін відображена на рис. 3. Основні числові дані параметрів кінематичного проектування, що використовуються для визначення координат міни, приведено у таблиці 1.

Основними вихідними даними, які повинні бути зафіксованими на моніторах командного пункту та введені у відповідну розрахункову програму, у даному випадку являються:

- віддаль a між катером-тралівником 1 та плавучим пошуковим блоком 2 ;
- кути ϕ° та δ° нахилу проєкуючих променів p_1 та p_2 , що відображають напрями пошукових сигналів до виявленої міни;
- кут τ° нахилу площини, утвореної проєкуючими променями p_1 та p_2 , до площини поверхні моря;
- віддаль H між базовою площиною $\alpha(\Delta ABC)$ та запровадженою «картинною» площиною $\beta(\Delta DKN)$;
- кут ρ° нахилу площини, утвореної проєкуючим променем p_1 та його проєкцією на «картинну» площину, до площини проєкцій ${}^2P(x;z)$.

Числові дані цих параметрів відображено для даного прикладу в таблиці 1.

Таблиця 1

Вхідні дані для визначення координат міни

№ з/п	Назва параметра	Позначення параметра	Числове значення параметра, м
1	Віддаль між катером-тралівником та плавучим пошуковим блоком	a	300
2	Віддаль від поверхні водойми до «картинної» площини	H	750
3	Кут нахилу між проєкуючим променем p_1 та віссю x	ϕ	75°
4	Кут нахилу між проєкуючим променем p_2 та віссю x	δ	70°
5	Кут нахилу площини проєкуючих променів $\gamma(p_1; p_2)$ до поверхні водойми	τ	85°
6	Кут нахилу площини проєкуючого променя p_1 та його проєкції на «картинну» площину до площини проєкцій ${}^2P(x;z)$	ρ	20°
7	Кут нахилу площини проєкуючого променя p_2 та його проєкції на «картинну» площину до площини проєкцій ${}^2P(x;z)$	ω	25°

Користуючись табличними даними та вище приведеними математичними залежностями, визначають основні параметри розташування виявленої міни у товщі води чи на дні водойми.

До цих параметрів належать:

- глибина занурення міни відносно поверхні водойми

$$h = \frac{H \cdot a}{a + d} = \frac{750 \cdot 300}{300 + 135,3} = 517,3 \text{ м};$$

- тут $H=750 \text{ м}$ та $a=300 \text{ м}$ - задані величини, а b - довжина відрізка FT у «картинній» площині $\beta(\Delta DKN)$ між точками її перетину проєкуючими променями p_1 та p_2 , тобто

$$b = |FT| = |x_F - x_T| = 190,3 - 55 = 135,3 \text{ м},$$

$$\text{де } x_F = H \cdot \text{ctg} \varphi \cdot \cos \rho = 750 \cdot \text{ctg} 75^\circ \cdot \text{cjs} 20^\circ = 190,3_M ;$$

$$x_T = a - H \text{ctg} \delta \cdot \cos \omega = 300 - 750 \cdot \text{ctg} 70^\circ \cdot \cos 25^\circ = 55_M ;$$

– віддаль від катера-тралівника l до міни 7

$$k = \frac{h}{\sin \tau \cdot \sin \varphi} = \frac{517}{\sin 85^\circ \cdot \sin 75^\circ} = 544_M ;$$

– координати міни

$$x_M = h \frac{\cos \varphi \cdot \text{ctg} \rho}{\sin \tau} = 517 \cdot \frac{\cos 75^\circ \cdot \text{ctg} 20^\circ}{\sin 85^\circ} = 375_M ;$$

$$y_M = h \frac{\cos \varphi}{\sin \tau} = 517 \cdot \frac{\cos 75^\circ}{\sin 85^\circ} = 136,5_M ;$$

$$z_M = h = 517_M$$

Цих даних цілком достатньо для однозначного визначення місця розташування міни, а відповідно і для її знешкодження, наприклад, за допомогою безпілотного плавучого робота-камікадзе. Введені у його пошукову систему координати міни достатні для його наведення на міну із подальшим самопідриванням робота-камікадзе. Це спонукатиме або детонізацію вибухової суміші міни, або ушкодженню її корпусу та складових деталей. Як наслідок – міну буде знешкоджено.

Обговорення результатів дослідження. Є дві незаперечні переваги, які властиві методиці застосування кінематичного проектування для пошуку мін. Перш за все, це можливість усунення людей від знешкодження мін. Це дуже важливо, бо процес розмінування не тільки довготривалий, а і вкрай небезпечний для команди катерів-тралівників та водолазів.

Іншою вагомою перевагою даного методу розмінування є відносно висока продуктивність та швидкість його пошукових робіт [10]. Широка смуга охоплення двома комплектами пошукової апаратури території, 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 зменшені як мінімум у півтора рази повторні пошукові переміщення катера-тралівника, а відповідно, і пропорційно зменшені витрати палива для роботи його привідних двигунів. Його переміщення дублюються допоміжним пошуковим блоком, який не споживає палива.

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. Суть запропонованого методу полягає у застосуванні для пошуку якірних та донних мін катером-тралівником із пришвартованою до нього гірляндою понтонів-імітаторів кораблів додаткового плавучого пошукового блоку оснащеного відповідною пошуковою апаратурою. Результати пошуків мін тоді зведуться

до розрахунків координат виявлених мін засобами кінематичного проектування. Це відчутно підвищує ефективність та точність пошуків мін.

2. Серед когорти можливих траєкторій переміщень катера-тралівника із додатково пришвартованим до нього пошуковим блоком при пошуках морських мін рекомендовано, як оптимальну траєкторію пошукових переміщень, по спіралі Архімеда із міжвитковим кроком, пропорційним радіусу ефективної дії їх пошукової апаратури.

3. Не зважаючи на недоліки методу пошуку якірних та донних мін із застосуванням засобів кінематичного проектування, що полягають у його підвищеній чутливості до метеорологічних погодних умов, а особливо, до вітрового навантаження на легкі понтони-імітатори, все ж даний метод має перспективу широкого практичного застосування. Обумовлюється це тим, що перш за все, при його використанні усувається небезпека контакту людей із вибухонебезпечною міною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонов Р. БПЛА допоможуть виявити нездетонувавші боєприпаси // Мілітарний : портал. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhuvyuvaty-nezdetonuvavshi-boyergrupasy/> (дата звернення: 18.08.2022).
2. Фурман І. І. Застосування морської мінної зброї в локальних війнах та збройних конфліктах у післявоєнний період (1950–2003 рр.) *Труди академії*. – К.: НАОУ, № 50, 2005, – С. 344–349.
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. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M. Development of unmanned aerial vehicles ways of usage *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. 2017. №1 (26). С. 30-34. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.06>
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., Пашетник 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/istcgcap2020.92.045>

REFERENCES

1. Antonov, R. (2022) UAVs will help detect unexploded ordnance [BPLA dopomozhut vyavyty nezdetonuvavshi boieprypasy]. *Militaryni: portal*. Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vyavylyaty-nezdetonuvavshi-boieprypasy/> [in Ukrainian].
2. Furman I. I. Zastosuvannja mors'koi' minnoi' zbroi' v lokal'nyh vijnah ta zbrojnyh konfliktah u pisljavojenyj period (1950–2003 rr.) *Trudy akademii*. – K.: NAOU, № 50, 2005, – S. 344–349. [in Ukrainian].
3. Lavrivskyi, 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

- merzhetsentrychnykh operatsii]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 1, 25–30. doi:10.30748/soivt.2018.53.03 [in Ukrainian].
5. Kucherenko Yu.F., Nosyk A.M. Development of unmanned aerial vehicles ways of usage *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. 2017. №1 (26). С. 30-34. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.06> [in Ukrainian].
 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 proetsiuvannia 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 proetsiuvannia 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 aparativ]. *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 [Kinematychno proetsiuvannia v suchasnykh tekhnolohiiakh]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriiia "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 aparativ]. *Suchasni doslidzhennia u svitovii nautsi, materialy II Mizhnarodnoi nauково-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 aeroxnimannia 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 aeroxnimanni z BPLA]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 92, 45–54. oi:<https://doi.org/10.23939/istecap2020.92.045-54> [in Ukrainian].