

АФТАНАЗІВ ІВАН

Національний університет «Львівська політехніка»
<http://orcid.org/0000-0003-3484-7966>

СТРОГАН ОРИСЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
<http://orcid.org/0000-0002-1790-6736>

ШЕВЧУК ЛІЛІЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
<http://orcid.org/0000-0003-3484-7966>

СТРУТИНСЬКА ЛЕСЯ

Національний університет «Львівська політехніка»
<http://orcid.org/0000-0002-0401-5475>

КІНЕМАТИЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОШУКУ МОРСЬКИХ МІН

Темою даного дослідження є вдосконалення методик пошуку і визначення координат морських мін різних типів та просторово-глибинного розташування, його предметом – застосування кінематичного проектування для уточнення координат якірних та донних мін. Мета роботи – розробка принципів схем оптимізації просторових переміщень пошукових суден та створення алгоритмів уточнених розрахунків координат якірних та донних мін засобами кінематичного проектування. Методологією проведення досліджень було застосування положень теорії відображення координат та траєкторій просторових переміщень рухомих об'єктів засобами нарисної геометрії із врахуванням специфіки та динамічних особливостей кінематичного проектування. Основним результатом дослідження є створення методики розрахунків уточнених координат якірних та донних мін у поєднанні із оптимізацією траєкторій пошукових переміщень плавучих пошукових суден по спіралі Архімеда. Цим забезпечується не тільки збільшення на 25-30% обстежених площ, а і пропорційна економія палива. Для керування переміщеннями пошукових плавучих засобів, для опрацювання наданих ними даних про виявлену міну, для уточнення координат виявленої міни запропонована відповідна блок-схема комп'ютерної програми.

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

AFTANAZIV IVAN, STROGHAN ORYSIA, SHEVCHUK LILIA, STRUTYNSKA LESIA
Lviv Polytechnic National University

KINEMATIC DESIGN AS A TOOL IMPROVEMENT OF NAVAL MINES SEARCH

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, mine clearance, trawler boat, boat, additional floating vehicle, block diagram, calculation, coordinates, kinematic design.

Вступ

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

Не минуло впровадження наукових досягнень і таку специфічну галузь військового озброєння як міни морського застосування. Сучасні вибухові матеріали, що значно перевищують за руйнівною здатністю традиційні динаміт та нітротолуол, спроможність реагувати на акустичні, електронні та вібраційні збурення поверхні моря, здатність з виявлення цілі вивільнятися від утримуючих тросів чи впливати з морського дна на поверхню – усе це перетворює сучасні міни з пасивних вибухових зарядів на активних розшукувачів цілей та ефективних засобів їх знищення. Поряд із покращенням та вдосконаленням руйнівної спроможності морських мін вдосконалюються і засоби їх маскуванню 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 із найважливіших методик знешкодження мін при розмінуванні морських акваторій у сьогоденні постає дистанційне їх підривання або глибинними бомбами або підводними дистанційно керованими роботизованими апаратами-підривниками.

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, наприклад, самотранспортована донна міна-торпеда Mk.67 SLMM (виробництво США), можуть самотужки допливати до наперед заданих їм координатами місць мінування. Або будучи скинутими із літаків пролітати до 100 кілометрів і м'яко приводнитися та залягти на дно в очікуванні своєї жертви (модель Quickstrike-ER) [1]. Чи перебуваючи на морському дні в режимі тривалого очікування у потрібний момент зреагувати, наприклад, на характерний шумовий фон корабля чи підводного човна, миттєво стартувати і торпедувати цей плавучий засіб (модель Mark 60 Captor 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, маскування під морські валуни та донне каміння – це прояви інженерного мистецтва оснащення та оздоблення сучасних морських мін. Усе це притаманні сучасним мінам тонкощі інженерної думки їх творців, спрямовані на маскування 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 та дистанційно керованих підводних торпед чи спеціальних роботів-ліквідаторів мін їх самопідриванням.

Морські міни, за рахунок автоматизації їх спроможності до обробки сигналів на спрацювання та новітніх методів доставки у точки закладання, перетворились із пасивної очікувальної зброї у зброю наступальну. Тому тепер для унеможливлення судноплавства та зриву розгортання ворожого флоту достатньо 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 на даний час являються 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 та магнітних полів, що роблять його схожим для мін на типовий корабель. В сучасному світі це розбірний понтонний катер зі швидкістю руху 6–10 вузлів, який можна швидко перетранспортувати літаком в потрібну точку світу. Прикладом сучасних катерів-тральників являються шведський SAM-3 і американський SAM-05.

Отже, мимоволі напрашується висновок – головне вчасно виявити міну, а сучасних засобів для її знешкодження, у тому числі і дистанційного, достатньо [2].

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Специфічною особливістю вдосконалення сучасних методів пошуку морських мін є те, що переважно вони ґрунтуються не тільки на можливостях вдосконалення пошукових засобів, наприклад, використання БПЛА [3–5] чи плавучих безпілотних апаратів, а і базуються на застосуванні математичного апарату та практично невичерпних спроможностей сучасної обчислювальної техніки [3–5].

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» [6, 7]. 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 проєкцій («картинна площина») можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі і часі [8, 9].

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

Поряд із створенням алгоритмів рішень прямої задачі кінематичного проектування для пошуку проєкцій траєкторій просторових переміщень об'єктів авторами було розроблено і ґрунтовно досліджено також і алгоритми рішень оберненої задачі. Обернена задача передбачає пошук за відомою траєкторією руху координат просторового розташування об'єкта. Опирались ці дослідження на досвід працівників Національного університету «Львівська політехніка» (Україна) в галузі аерофотогеодезії у застосуванні безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для визначення координат місцевості при складанні топографічних карт [11, 12].

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 проєктуючими 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 [10].

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.

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 [6, 7]. 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.

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

Метою даного дослідження, у його загальному трактуванні та сприйнятті, є підвищення обороноздатності та безпеки судноплавства морських територій та прісноводних водойм України шляхом ліквідації мінних полів із якірними та донними мінами. Конкретизована мета даної роботи – розробка принципів схем оптимізації просторових переміщень пошукових розмінювальних суден та створення алгоритмів уточнених розрахунків координат якірних та донних мін засобами кінематичного проектування.

Виклад основного матеріалу

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

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

У якості допоміжного пошукового плавучого засобу тут може використовуватися, наприклад, потужний моторизований човен чи катер, що спроможний протистояти вітровому навантаженню та обумовленому ним хвильовому збуренню морської поверхні. Сприйнятим є і варіант, у якому в якості ДПЗ використовуватимуть ще один катер-тралівник.

Тому, організовуючи пошукові роботи із розмінування певних акваторій моря, доречно таким чином організувати ці 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 [6, 7, 10].

Певним чином пошуки плавучих мін значною мірою схожі на переміщення риболовецьких суден при пошуках ними косяків риби, придатних для морського промислу [16].

Розмінування морської акваторії від плавучих, якірних та донних мін із використанням допоміжного плавучого засобу (ДПЗ) та кінематичного проектування здійснюють у наступній послідовності. Катер-тралівник із завантаженими на нього допоміжною пошуковою апаратурою та засобами підривання 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 віддаль

$$a = R + r,$$

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

r – радіус півсфери ефективного пошуку гідроакустичної апаратури ДПЗ.

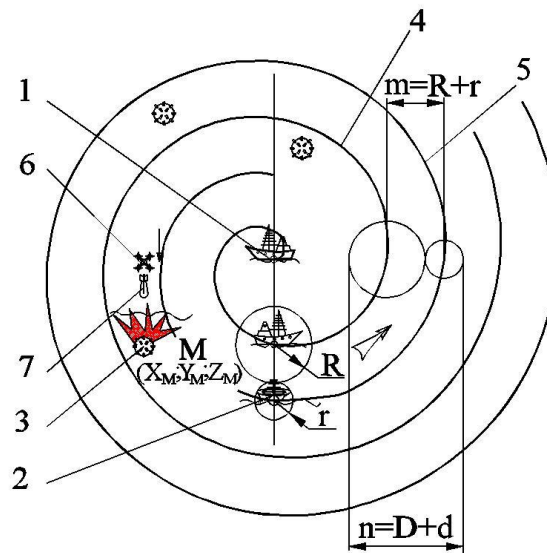


Рис. 1. Траєкторія просторових переміщень по спіралі Архімеда катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу в пошуках мін
Джерело: розроблено авторами

Вилаштуванім у одну лінію катеру-тралівника та допоміжному плавучому засобу в процесі пошуку мін надають переміщення по спіралі Архімеда, крок якої рівний

$$n = D + d,$$

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

Центр спіралі Архімеда, по якій переміщуються пошукові судна, умовно облаштований в центрі пошукової ділянки акваторії моря.

При вище вказаних параметрах пошукової апаратури як оптимальні можна було б рекомендувати наступні параметри траєкторії пошукових переміщень суден:

- $a = 150$ м – віддаль між допоміжним плавучим засобом та 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 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 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/год, то за годину часу цими двома пошуковими суднами при просторових їх переміщеннях по спіралі Архімеда буде обстежено приблизно шість квадратних кілометрів акваторії моря.

У випадку виявлення будь-яким із пошукових суден плаваючої, якірної чи донної міни обхід ними території по спіралі Архімеда призупиняють. По відповідній команді із командного пункту катера-тралівника та допоміжного плавучого засіб розташовуються рівновіддалено по два боки від виявленої міни.

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

Якщо виявлений на поверхні чи у глибині моря предмет все ж таки 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. Класичний термін «кінематичне проектування» передбачає можливість проектування, у якому всі або окремі його складові, а саме центр проектування, об'єкти проектування та носії проєкцій («картинна» площина) можуть здійснювати взаємозалежні просторові переміщення у просторі та часі.

При пошуках мін із використанням кінематичного проектування розрахунковою програмою передбачено виконання наступних етапів. На першому етапі у 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 і спрямована в напрямку точки B , що символізує місце та координати облаштування другої гідроакустичної випромінюючої антени допоміжного плавучого засобу 2. Вісь « z » бере початок в точці A , перпендикулярна осі x і спрямована вниз у морські глибини. Вісь « y » теж започатковується в точці A і перпендикулярна осям « x » та « z ». Спрямовані по поверхні водойми осі « x » та « y », як дві взаємно перпендикулярні прямі, утворюють так звану «базову» площину α . На віддалі a від точок A та B у площині $\alpha(x,y)$ задають допоміжну точку із координатами $C(a/2;0,87a;0)$. Задавши глибину H , що перевищує в 1,2-1,5 рази орієнтовну глибину залягання міни, на перпендикулярах до базової площини α в точках A, B та C в напрямку морських глибин встановлюють точки M, N та 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 віддаль 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 навіть в глибинах морського дна чи дна водойми. Це усуває небезпеку впливу на точність розрахунків координат при кінематичному проектуванні відбитих від дна водойми хибних сигналів ехолокаторів. І це є суттєвою перевагою застосування для пошуку мін засобів кінематичного проектування.

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) проектуючих 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 $\sigma = p_2 \wedge \alpha$. Крім того для повноцінної координатної прив'язки проектуючих променів до запровадженої системи координат для кожного із проектуючих променів p_1 та p_2 визначають і кут його нахилу до лінії a , що з'єднує між собою катер-тралівник 1 та ДПЗ. Тобто $\delta = p_1 \wedge AB$, $\varphi = p_2 \wedge AB$ (рис. 2).

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

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

Точку перетину проектуючого променя із «картинною» площиною β шукають аналітичним методом. При аналітичному методі пошуку точки перетину задають аналітичне рівняння проектуючого 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 та P із відомими координатами. Точкою перетину прямої із площиною у цьому випадку буде шукана точка, координати якої одночасно задовольняють і рівняння прямої, і рівняння площини.

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

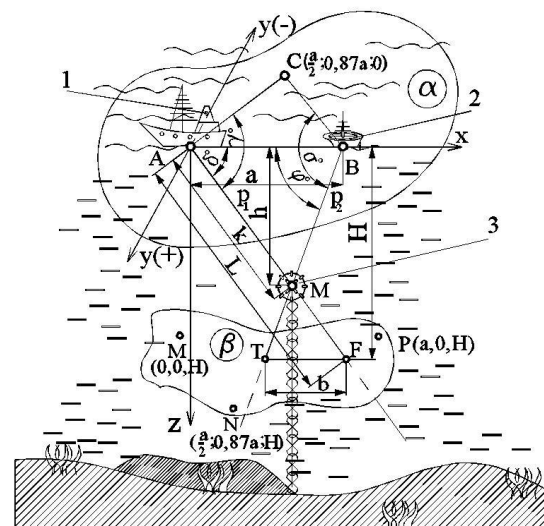


Рис. 2. Принципова схема використання кінематичного проектування для пошуку та визначення координат морських якірних мін
Джерело: розроблено авторами

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

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

Для перевірки правильності здійснених розрахунків, володіючи координатами точок A та B , а також точок $F = p_2 \cap \beta$ та $T = p_1 \cap \beta$ 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 із 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 B) та виявлену міну (точка M) 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 M , у якій розміщена виявлена міна. Якщо виявлені координати точки перетину між собою обох проєктуючих променів співпадають у вище відзначених кроках перевірок, то роблять висновок про відповідність розрахованих координат розміщення міни їх реальному значенню.

Командний пункт по можливості, черговий раз уточнює тип міни, кінцево проаналізує безпеку вибуху міни для довкілля, для людей та використовуваної пошукової техніки і дає команду на ліквідацію 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.

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.

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

На рис. 4 відображена блок-схема послідовності розрахунків та 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 та кількість пошукових суден, характеристика їх просторового розташування та переміщень, ширина пошукової смуги під час пошуків мін.

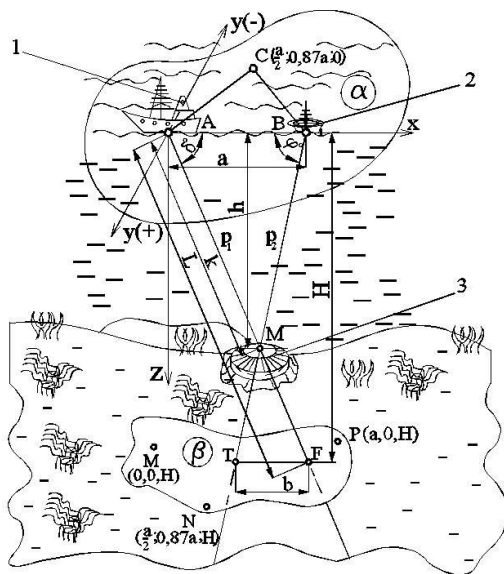


Рис. 3. Принципова схема використання кінематичного проєктування для пошуку та визначення координат донних мін
Джерело: розроблено авторами

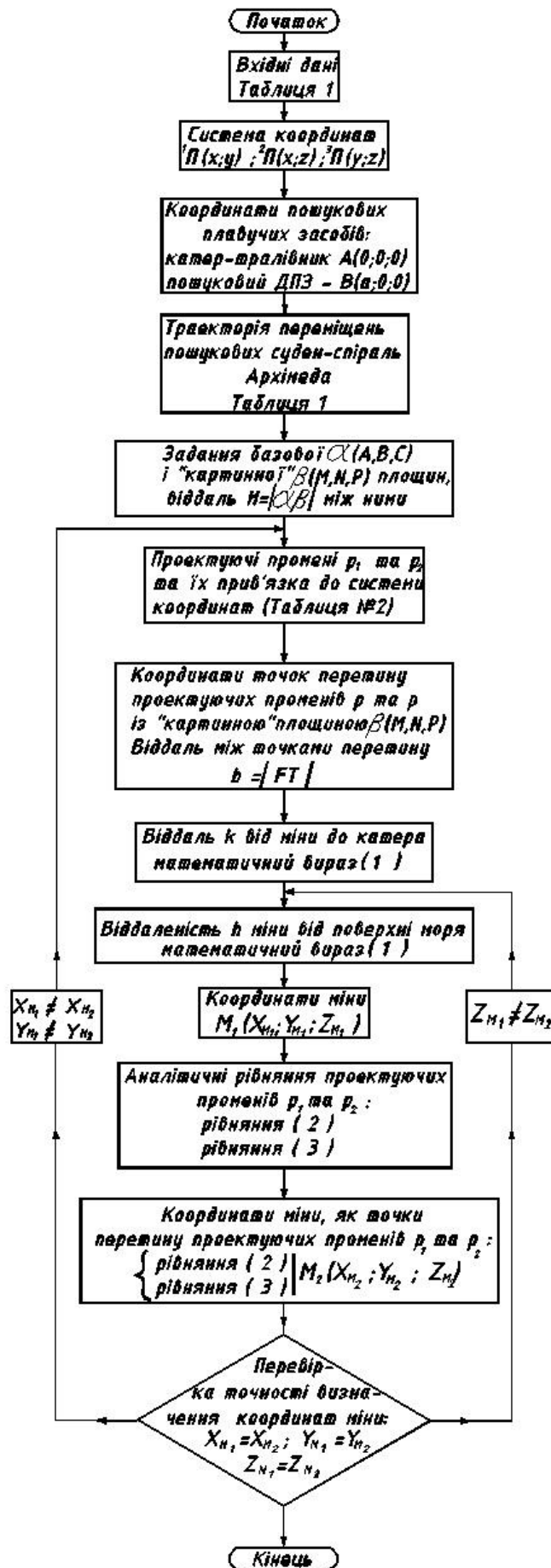


Рис. 4. Блок-схема розрахунків координат виявлених якірних або донних мін. Джерело: розроблено авторами
 Безпосередньо розрахунок передбачає декілька етапів. Зокрема, визначення віддалі від базового катера-тралівника до допоміжного плавучого засобу, розрахунок координат проєкцій проєктуючих променів

пошукової апаратури суден, визначення довжини генерованих проєктуючих променів, спрямованих на виявлену міну тощо (таблиця 2).

Таблиця 1

Табличні вхідні дані блок-схеми розрахунку координат виявлених мін

№ з/п	Назва заданого параметра	Позначення і 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 віддаль або крок спіралі $n = 300$ м, – віддаль 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

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

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

№ з/п	Проєктуючі промені гідроакустичної пошукової апаратури катера-тралівника та допоміжного плавучого засобу (ДПЗ)		
	Елементи просторового розташування проєктуючих променів та 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 $^1\Pi$);	$\gamma^\circ = p_1 \wedge ^1\Pi$	$\sigma^\circ = p_2 \wedge ^1\Pi$

Джерело: розроблено авторами.

На підставі цих даних розраховують координати міни і перевіряють їх точність. У випадку розбіжностей прорахованих по кожному із пошукових суден даних уточнюють кути нахилу та довжини проєктуючих променів радіолокаційної станції катера-тралівника та аналогічні дані допоміжного пошукового судна (рис. 4).

Обговорення результатів дослідження

Звичайно, як і більшість інженерних рішень, дана пропозиція щодо вдосконалення методів розмінування акваторії моря та річок має як свої переваги, так і свої вагомні недоліки. Незаперечно найвагомнішим із недоліків є те, що він придатний лише для мін, корпуси яких спроможні відбивати сигнали пошукової апаратури. Навіть звичайні донні міни, що тривалий час пролежали на морському чи річковому дні і вкрились товстим шаром нанесеного течіями намулу чи піску, можуть стати «невидимими» для пошукової апаратури суден. Не меншу проблему становлять і металеві уламки конструкцій ушкоджених та затонулих кораблів, які доволі густо вкривають морське дно, особливо на традиційних шляхопроводах та рейдах. Тут зворотня ситуація – ці уламки доволі легко прийняти за металеві корпуси мін та 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 висотою понад 1,5 метри, надмірна задимленість повітря, інтенсивні дощові чи снігові опади – усе це унеможливує використання «легких» моторизованих човнів, що пропонуються для застосування у якості допоміжних пошукових плавучих засобів.

Певним недоліком є і те, що виявлені даним методом плавучі 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 проєктування для пошуку мін. Перш за все, це повне усунення людей як від пошукових переміщень, так і від знешкодження

мін. Це дуже важливо, так як 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 суднами 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 зменшені як мінімум у півтора рази пошукові переміщення катера-тралівника, а відповідно, 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 та 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 катерові-тралівнику довелося б за годину проплисти біля 10 додаткових 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 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 військоове 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 надводних та підводних плавучих засобів.

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

3. Суть запропонованого методу полягає у застосуванні для пошуку якірних та 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 вдвічі 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 при пошуках морських мін рекомендовано як оптимальну траєкторію пошукових переміщень групою, наприклад, із двох вилаштованих в ряд суден по спіралі Архімеда із міжвитковим кроком, пропорційним кількості пошукових суден та радіусу ефективної дії їх пошукової апаратури.

5. 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 пошукові судна, 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, а по-друге, застосування даного методу суттєво зменшує потребу в пошукових переходах катера-тралівника, 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-dopomozhut-vyyavlyaty-nezdetonuvavshi-boeyprypasy/>.
2. Апальков Ю. В. ВМФ СССР и России. Корабли противоминной обороны. Часть 2. СПб : Морское наследие, 2019. 224 с.
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. 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>

7. Афтаназів І. С., Шевчук Л. І., Стоцько Р. З., Свідрак І. Г., Строган О. І., Струтинська Л. Р. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін методами кінематичного проєктування. Розвиток транспорту. 2022. Вип. 3 (14). С. 143–165.
8. Свідрак І. Г., Баранецька О. Р., Топчій В. І., Шевчук А. О., Галкіна Н. С. Визначення просторових координат точок панорамного знімання : 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. Калиновская О. П., Глоговский В. В., Пулькевич И. Г. К проблеме единой теории проекционных отображений. Прикладная геометрия и инженерная графика. 1994. Вип. 57. С. 45–50.
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. 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. BPLA dopomozhut vyjavyty nezdetonuvavshi boieprypasy. Militarnyi : portal. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bpla-dopomozhut-vyyavyty-nezdetonuvavshi-boieprypasy/>.
2. Apalkov Yu. V. VMF SSSR i Rossii. Korabli protivominnoj oborony. Chast 2. SPb : Morskoe nasledie, 2019. 224 s.
3. Lavrivskiy M. Z., Tur N. Ye. Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ v monitorynhu nadzvychainykh sytuatsii u lisovii mistsevosti. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2015. Vyp. 258. S. 353–359.
4. Kucherenko Yu. F., Naumenko M. V., Kuznietsova M. Yu. Analiz dosvidu zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ ta vyznachennia napriamku yikh podalshoho rozvytku pry vedenni merezhentsentrychnykh operatsii. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2018. № 1. S. 25–30. doi:10.30748/soivt.2018.53.03.
5. Mosov S. Bepilotnaya razvedyvatelnaya aviaciya stran mira: istoriya sozdaniya, opyt boevogo primeneniya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya : [monografiya]. Kiev : RUMB, 2008. 160 s.
6. 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>
7. Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Stotsko R. Z., Svidrak I. H., Strohan O. I., Strutynska L. R. Poshuk bezpilotnymi litalnymi aparatamy plavaiuchykh min metodamy kinematychnoho proiektuvannia. Rozvytok transportu. 2022. Vyp. 3 (14). S. 143–165.
8. Svidrak I. H., Baranetska O. R., Topchii V. I., Shevchuk A. O., Halkina N. S. Vyznachennia prostorovykh koordynat tochok panoramnoho znimannia : zbirnyk naukovykh prats MDPU im. B. Khmelnytskoho. Melitopol, 2014. Vyp. 2. S. 136–140.
9. Shults R. V., Voitenko S. P., Krelshtein P. D., Malina I. A. Do pytannia rozrakhunku tochnosti vyznachennia koordynat tochok pid chas aerofotoznimannia z bezpilotnykh litalnykh aparativ. Inzhenerna heodeziia. 2015. Vyp. 62. S. 124–136.
10. Kalinovskaya O. P., Glogovskij V. V., Pulkevich I. G. K probleme edinoj teorii proekcionnykh otobrazhenij. Prikladnaya geometriya i inzhenernaya grafika. 1994. Vyp. 57. S. 45–50.
11. Ianchuk R. M., Trokhymets S. M. Stvorennia kartohrafichnoi osnovy dlia rozrobky heneralnykh planiv naselenykh punktiv za materialamy aereznimannia z neprofesiinykh BPLA. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky. 2017. Vyp. 1. S. 32–39.
12. Hlotov V., Fys M., Pashchetnyk O. Rozrobka metodyky pidvyshchennia tochnosti vyznachennia prostorovykh koordynat tochok obiektiv pry aereznimanni z BPLA Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia. Lviv, 2020. Vyp. 92. S. 45–54. doi: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.045>.