

АФТАНАЗІВ ІВАН

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-3484-7966>e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com**ШЕВЧУК ЛІЛІЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-3484-7966>e-mail: shev.lili2206@gmail.com**СВІДРАК ІНГА**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-1811-2011>e-mail: inha.h.svidrak@lpnu.ua**СТРОГАН ОРІСЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-1790-6736>e-mail: orysia.i.strohan@lpnu.ua

МОРСЬКИЙ БЕЗПЛОТНИЙ УДАРНИЙ ДРОН-КАТЕР ІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ПРИШВИДШУВАЧЕМ РУХУ

Приведено опис конструктивної схеми морського безпілотного ударного дрона-катера із ультразвуковим пришвидшувачем руху. Його підвищення швидкості на завершальному етапі виходу на завчасно обрану оператором ціль забезпечується вмонтованим у корпус дрона-катера ультразвуковим генератором високочастотних електромагнітних хвиль, випромінювачі якого розміщені на корпусі нижче його ватерлінії для опромінення води, в якій переміщується корпус, та збурення в ній кавітації.

Виявлено, що для збурення кавітації у забортовій воді оптимальним є використання ультразвукового генератора, до складу якого входять генератор високочастотних імпульсів із джерелом електричного живлення, підсилювач із резонатором та випромінювач ультразвукових високочастотних електромагнітних хвиль. Випромінювачі омиваються забортовою водою і розташовані у шаховому порядку на корпусі та днищі катера нижче його ватерлінії.

Доведено, що збурення кавітаційного поля під днищем рухомого корпусу катера у забортовій воді знижує на 30-40% в'язкість води, зменшуючи тим самим гідродинамічний опір води переміщенням у ній твердих тіл. Виявлено, що зниження гідродинамічного опору забортової води сприяє нарощуванню швидкості руху корпусу катера від його крейсерської швидкості 75-80 км/год на завершальній ділянці наближення до цілі до 95-100 км/год.

Відзначено, що нарощування швидкості руху катера сприяє пропорційному збільшенню кінетичної енергії його удару по завчасно обраній цілі, збільшуючи ступінь завдання цілі пошкоджень та руйнувань.

Підраховано, що збільшення швидкості руху дрона-катера на 25-30% гарантує скорочення на 25-26% терміну його перебування у зоні ураження і, відповідно, пропорційно знижує ймовірність його ураження автоматизованою стрілецькою зброєю противника.

Рекомендовано у якості ультразвукового генератора випромінювання ультразвукових пульсуючих електромагнітних хвиль обрати конструктивну схему та будову потужних типових апаратів для ультразвукового зварювання. Їх дешеві деталі та вузли масово виготовляються промисловими підприємствами.

Ключові слова: морська вода, ударний катер, безпілотний дрон, швидкість руху, забортова вода, кавітація, генератор, ультразвук, випромінювач.

AFTANAZIV IVAN, SHEVCHUK LILIA, SVIDRAK INGA, STROHAN ORYSA
Lviv Polytechnic National University

MARINE UNMANNED IMPACT DRONE BOAT WITH ULTRASONIC ACCELERATOR

A description of the design scheme of a marine unmanned attack drone-boat with an ultrasonic accelerator is given. Its increase in speed at the final stage of reaching a target pre-selected by the operator is provided by an ultrasonic generator of high-frequency electromagnetic waves installed in the hull of the drone-boat, the emitters of which are placed on the hull below its waterline to irradiate the water in which the hull moves and disturb its cavitation.

It was found that the use of an ultrasonic generator, which includes a high-frequency pulse generator with an electrical power source, an amplifier with a resonator, and an emitter of ultrasonic high-frequency electromagnetic waves, is optimal for disturbing cavitation in offshore water. The emitters are washed with onboard water and are arranged in a staggered pattern on the boat's hull and bottom below its waterline.

It has been proven that the disturbance of the cavitation field under the bottom of the moving hull of the boat in offshore water reduces the viscosity of water by 30-40%, thereby reducing the hydrodynamic resistance of water by moving solid bodies in it. It was found that lowering the hydrodynamic resistance of the water on board contributes to increasing the speed of the boat's hull from its cruising speed of 75-80 km/h in the final section of the approach to the target to 95-100 km/h.

It is noted that increasing the boat's speed contributes to a proportional increase in the kinetic energy of its impact on a previously selected target, increasing the degree of damage and destruction caused to the target.

It is estimated that increasing the speed of the drone-boat by 25-30% guarantees a 25-26% reduction in the duration of its stay in the affected area and, accordingly, proportionally lowers the probability of it being hit by the enemy's automated small arms.

It is recommended to choose the design scheme and structure of powerful typical devices for ultrasonic welding as an ultrasonic generator of ultrasonic pulsating electromagnetic wave radiation. Their cheap parts and assemblies are mass-produced by industrial enterprises.

Keywords: sea water, attack boat, unmanned drone, movement speed, onboard water, cavitation, generator, ultrasound, emitter.

Під час проведення бойових дій в акваторії Чорного моря доволі ефективною зброєю зарекомендували себе морські безпілотні ударні малогабаритні катери. Зокрема уже всесвітньо відомими постали створені науковцями України бойові дрони-катери моделей Magura та Sea Baby, за безпосередньою участю яких було потоплено та ушкоджено і виведено з ладу цілу низку військової судноплавної техніки противника.

Порівняно висока ефективність цього різновиду морського озброєння спонукає до пошуку шляхів конструктивного вдосконалення їх будови та засобів підвищення ефективності. Як один із найдієвіших заходів підвищення ефективності морських дронів-катерів доречно було б вважати і такий, як пониження ймовірності їх ураження силами та засобами противника. Адже не зважаючи на доволі високу маневреність цих плавучих на морській поверхні катерів, їх доволі легко виявити силами радіолокаційного відслідковування. Мабуть саме тому і ймовірність успішного виконання дронами-катерами бойового завдання доволі часто на перевищує 50%.

На жаль для вирішення цієї проблеми, на наш погляд, придатними та дієвими можуть бути лише два шляхи – або за схемами та методиками Stels сучасної бойової авіації добиватися неспроможності засобів пеленгації противника до своєчасного виявлення ударних дронів-катерів, або ж максимально зменшувати наданий противнику час на їх ураження. Безумовно, перший шлях є відчутно ефективнішим, та на його застосування необхідні суттєві кошти та тривалі наукові дослідження і випробування. А якщо ще і врахувати, що переважно дрони-катери є озброєнням разового використання, то ці затрати можуть бути економічно не виправданими. Другий шлях видається більш реальним до швидкого впровадження і застосування. Він полягає у стрімкому підвищенні швидкості та маневреності дронів-катерів на етапах їх безпосереднього виходу на кінцеву ціль, що спрямовано на зменшення відведеного противнику часу на ураження диверсійного дрона-катера. Є правомірні сподівання, що підвищення швидкості та маневреності бойового дрона-катера пропорційно понизить ймовірність його ураження противником.

Огляд літературних джерел

Швидкість переміщення дрона-катера, як і усіх плаваючих технічних засобів, регламентується якістю палива та потужністю його двигуна приводу, частотою обертання вихідного валу, коефіцієнтом корисної дії та геометрією привідних елементів (корабельного гвинта чи водометної установки), масою плавучого засобу, площею його корпусу, що занурена у воду, а також густиною та в'язкістю забортової води, які обумовлюють її гідродинамічний опір переміщенням в ній зануреної у воду частини корпусу.

Звичайно, впливатимуть ще і напрями течій та вітрового навантаження, та цими впливами у даному випадку доречно знехтувати, прийнявши їх швидкості рівними нулю. Вище означені чинники є визначальними для швидкості плавучого засобу, а для конкретної моделі бойового дрона-катера, враховуючи переважно одноразовий характер його використання, ще і незмінними. Це надає підставу стверджувати, що за умов використання дронів-катерів у режимі «камікадзе» конструктивно для них не передбачені можливості збільшення їх швидкості шляхом впливу на гідродинамічний опір забортової води. Це є певним недоліком конструктивної будови дронів-катерів даного типу.

У основу даного дослідження поставлено завдання оснастити морський бойовий безпілотний дрон-катер спорядженням, яке надасть йому можливість збільшити швидкість переміщень по водній поверхні завдяки зменшенню гідродинамічного опору забортової води переміщенням в ній плавучого корпусу дрона-катера. Подібні задачі, спрямовані на підвищення швидкості плавучих засобів, доволі часто виникали і порівняно успішно вирішувалися науковцями-дослідниками.

Зокрема ціла низка робіт дослідників спрямована на вдосконалення конфігурації занурених у воду частин корпусу плавучих засобів з метою надання їм форм, що понижують гідродинамічний опір забортової води [1,2]. Такі заходи особливо ефективні для малорозмірних спортивних човнів та суден, глибина занурення яких у товщу води та їх маса незначні [3,4]. Звичайно оптимізація конструкції та форми корпусу бойового дрона-катера дуже важливі для їх маневреності та дальності переходу, однак на суттєве підвищення швидкості вони вплинути неспроможні.

Так відома морська корабельна бойова торпеда моделі М5 комплексу ВА111 «Шквал», яка завдяки оснащенню підводним реактивним двигуном та забезпеченням її руху в товщі води у сформованій кавітаційній наповненій повітряно-водяною сумішшю капсулі, спроможна розвивати швидкість до 480 км/год. Така висока швидкість руху цієї торпеди у товщі води, поряд із потужною реактивною тягою, забезпечується і тим, що рух торпеди здійснюється в так званому режимі розвинутої кавітації (відривного обтікання), коли основна частина корпусу торпеди охоплена парогазовою капсулою-каверною. При цьому завдяки кавітації стрімко понижується гідродинамічний опір води та забезпечується швидкість підводного переміщення торпеди-ракети такою, що у 3-5 разів перевищує швидкість традиційних торпед, які переміщуються у режимі звичного суцільного (безвідривного) обтікання [5].

Дана ідея підвищити швидкість руху в товщі води зануреної в неї торпеди шляхом пониження гідродинамічного опору води збуреною у ній кавітацією надзвичайно ефективна. Проте для надводних плавучих засобів, яким і є бойовий дрон-катер, вона потребує певного переосмислення та вдосконалення.

Збурення кавітації є одним із найрозповсюдженіших явищ, що супроводжують використання в технологічних процесах ультразвукових високочастотних коливань та електромагнітних випромінювань є збурення кавітації. Його суть полягає у тому, що під дією ультразвуку в рідинних потоках формуються

наповнені повітрям мікробульбашки, що у поєднанні з рідиною формують об'ємну кавітаційну область [6]. Такі явища спостерігаються за гребним гвинтом морських суден на підвищених частотах обертання гвинта. Також інтенсивне збурення кавітаційних явищ спостерігається у трубопроводах в місцях стрімкої зміни діаметрів труб та водозапірної апаратури. Кавітаційні процеси у вище приведених прикладах ініційовані змінами швидкостей та геометрії рідинних потоків. Вони активно руйнують матеріал деталей, що контактують із кавітаційними зонами рідинних потоків.

Однак у певних технологічних процесах кавітація відіграє важливу позитивну функцію. Прикладами такого процесу є екстрагування, яке полягає у формуванні в рідинному потоці значної кількості зважених газових мікробульбашок. Таким чином покращують паливо двигунів внутрішнього згорання, насичуючи його мікробульбашками повітря для підвищення повноти згорання палива [7,8]. Найефективнішим для цього виявилось застосування кавітаційного диспергування, що збурене в потоці палива дією на нього ультразвуку [9]. Схожу та дещо зворотню дію засобами ультразвукового впливу використовують для насичення повітря мікрокрапельками рідини. Наприклад, для покращення поливу рослин при їх вирощуванні в тепличних умовах у засушливих регіонах.

Це свідчить, що ультразвукові високочастотні електромагнітні коливання спроможні впливати на воду, видозмінюючи в ній густину взаємонасичення води розчиненими у ній повітрям та різними газами [10]. Тим самим видозмінюючи густину та в'язкість сформованих кавітацією рідинно-повітряних сумішей, а отже і силу опору переміщенню в них твердих тіл, у тому числі і торпедного озброєння [5].

Таким чином, технологічні процеси із застосуванням ультразвукових високочастотних випромінювань свідчать про високі енергетичні можливості у використанні ультразвуку, а вплив ультразвуком на рідинно-повітряні суміші відображає його спроможність до видозмін густини та в'язкості як рідин, так і повітря. А отже і до змін сил гідродинамічного опору переміщенню у воді твердих тіл, у тому числі і корпусів катерів. Проте відсутні дані щодо застосування ультразвукових коливань та генеруючих їх пристроїв у відомих конструкціях дронів-катерів.

Об'єктом даного дослідження була конструктивна будова бойового безпілотного дрона-катера, методики та засоби покращення його тактико-технічних характеристик, зокрема швидкості руху.

Предметом дослідження було вивчення та аналіз енергетичного впливу високочастотного електромагнітного випромінювання на гідродинамічний опір води.

Мета дослідження - розробка конструктивної схеми ракетного ультразвукового генератора для пришвидшення руху дронів-катерів.

Задачі дослідження:

- аналіз впливу ультразвукового опромінення на гідродинамічний опір води;
- розробка конструктивної схеми ультразвукового випромінювача високочастотних електромагнітних хвиль для опромінення забортової води при русі дронів-катерів..

Основні результати дослідження

За основу досліджуваної конструкції морського бойового безпілотного дрона-катера обрана конструкція морського дрона-катера українського виробництва моделі MAGURA або Sea Beby. Конструктивно дрони-катери даного типу складаються із таких основних вузлів, деталей та пристроїв і механізмів: це плавучий герметично закритий корпус у якому розташовані двигун приводу механізмів та пристроїв забезпечення руху, ємність із запасом палива, механізми керування напрямом руху корпусу, що управляються засобами дистанційного керування, та бойовий заряд із детонатором вибуху. Для забезпечення радіозв'язку із операторами, керування маневреністю та переміщеннями дрони-катери оснащені відповідною апаратурою дистанційного керування [11].

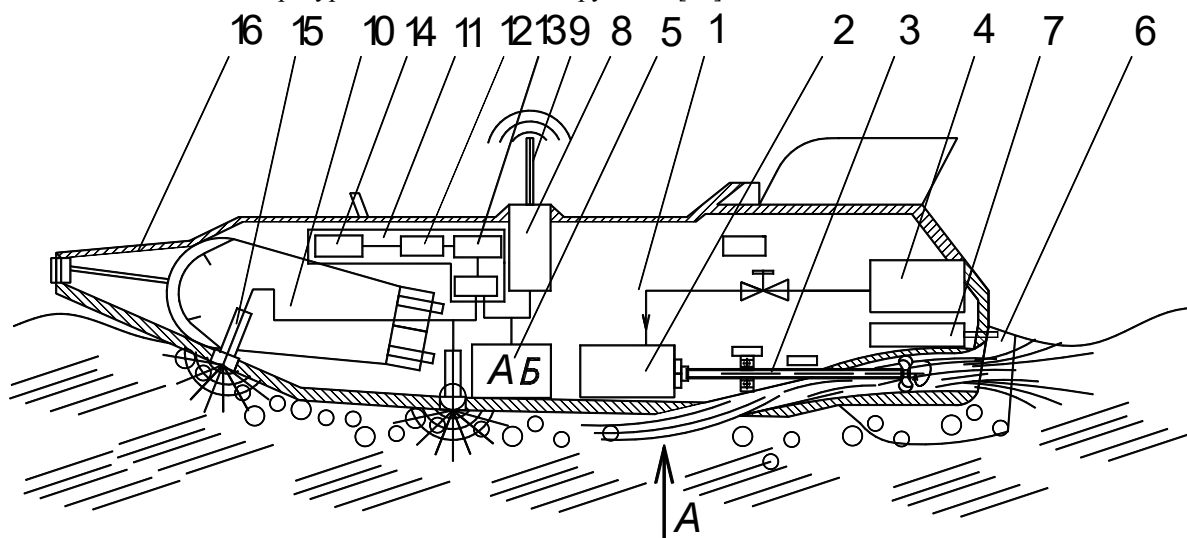


Рис.1 Принципова схема морського бойового безпілотного дрона-катера із ультразвуковим пришвидшувачем руху
Джерело: розроблено авторами

Основними складовими відображеного на рис.1 морського бойового безпілотного дрона-катера є корпус 1, у якому зафіксовані двигун 2 приводу руху виконавчих механізмів 3, у якості яких використовують корабельний гвинт, лопатеву крильчатку або водометну установку, а також ємність 4 запасу палива. Для живлення двигуна, механізмів та пристроїв дрона-катера електричним струмом призначена встановлена у корпусі 1 акумуляторна батарея 5. Для маневреності та змін напрямів руху призначені прикріплені до корпусу 1 поворотні кілі 6, що управляються механізмом 7 змін напрямів руху. Управління рухом дрона-катера, роботою усіх його пристроїв та механізмів здійснюється віддалено системою дистанційного керування 8, яка за допомогою радіолокаційної антени 9 підтримує зв'язок із командним пунктом управління рухом дрона-катера. У носовій частині корпусу 1 встановлено бойовий заряд 10 із детонатором вибуху, що призначені для ураження завчасно обраної цілі противника.

Для пришвидшення ходу дрона-катера він оснащений розташованим у корпусі 1 за боєзарядом 10 ультразвуковим генератором 11, до складу якого входять джерело живлення 5, генератор високочастотних імпульсів 12, підсилювач 13 із резонатором 14 та випромінювачі 15 ультразвукових високочастотних електромагнітних хвиль. Випромінювачі 15 розташовані у шаховому порядку на корпусі 1 нижче його ватерлінії для опромінення води, в якій переміщається корпус, та збурення в ній кавітації. Випромінююча високочастотні електромагнітні хвилі поверхня випромінювачів 15 розташована у одній площині із зовнішньою поверхнею корпусу 1 і омивається забортовою водою. Рекомендована віддаль між сусідніми випромінювачами 15 приблизно 0,5 метра.

Для узабезпечення встановлених у корпусі 1 приладів та механізмів від потрапляння на них забортової води корпус 1 герметично закривається кришкою 16.

Конструктивна схема запропонованого ультразвукового генератора для підвищення швидкості руху дронів-катерів ідентична конструктивній схемі типових апаратів для ультразвукового зварювання, дешеві деталі та вузли яких масово виготовляються промисловими підприємствами.

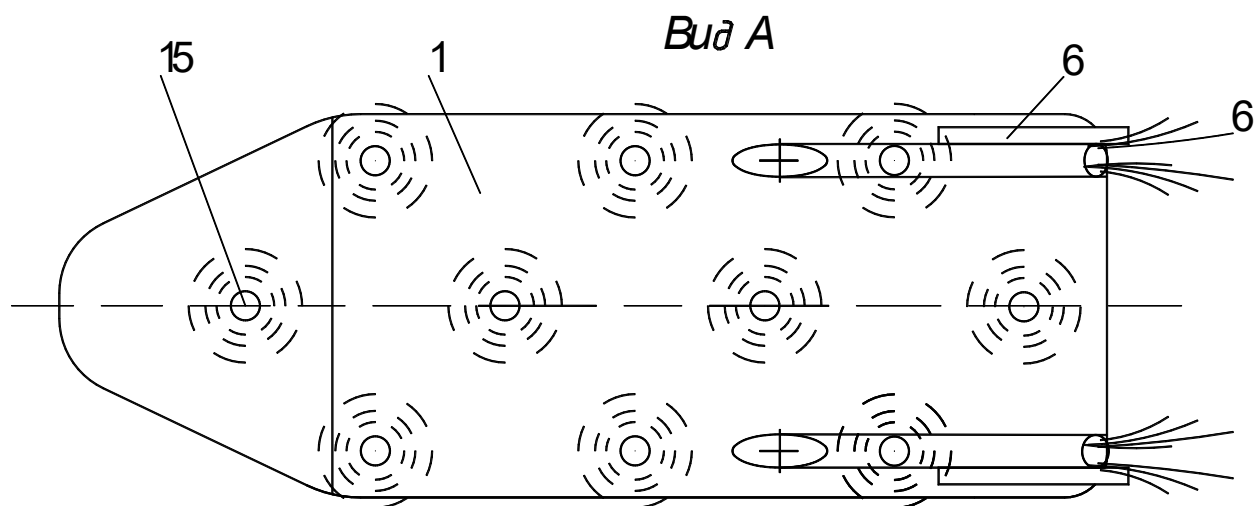


Рис.2 Вид по стрілі А (рис. 1) на днище корпусу дрона-катера із відображенням схеми розташування випромінювачів високочастотних електромагнітних імпульсів
Джерело: розроблено авторами

Бойове застосування дрона-катера здійснюють наступним чином. Заповнюють ємність 4 паливом, встановлюють бойовий заряд 10 із детонатором, вводять в систему дистанційного керування дані про режими роботи механізмів, траєкторію руху та маневрування і кінцеві координати бойової цілі. Корпус 1 дрона-катера герметично закривають кришкою 16 та спускають на воду. Перевіривши роботу усіх вузлів та механізмів запускають двигун приводу 2 і дрон-катер спрямовують на виконання бойового завдання.

При підході дрона-катера до зони можливого його ураження противником нарощують частоту обертання привідного механізму, наприклад, привідного валу гідрометного механізму 3 для розгону дрона-катера до максимальної швидкості і вмикають ультразвуковий генератор 11 високочастотних електромагнітних випромінювань. Занурені у забортову воду випромінювачі 15 цього ультразвукового генератора 11 збурюють у забортовій воді кавітацію. Кавітаційні процеси у прилеглий омиваючій корпус 1 дрона-катера забортовій воді ініціюють формування вздовж усієї зануреної у забортову воду частину корпусу об'ємної кавітаційної області. Її характерною особливістю є виділення із блоків молекул води розчинених в ній згідно закону Генрі-Дальтона молекул повітря та газів у вигляді великої кількості мікробульбашок. Повітря-газові кавітаційні мікробульбашки, зливаючись між собою, наростають в своїх об'ємах до певних розмірів, сягнувши яких схлопують і руйнуються, поставши тим самим джерелом для формування нових мікробульбашок. Цей процес набуває лавиноподібного характеру і кавітаційна область у

забортовій воді постає у вигляді наповненої міриадами повітряних мікробульбашок повітро-рідинної субстанції (суміші).

При русі корпусу 1 дрон-катера у такій супроводжуючій його повітро-рідинній суміші газо-повітряні мікробульбашки стрімко понижують сили поверхневого натягу блоків молекул забортової води, понижуючи тим самим її гідродинамічний опір переміщенням в ній корпусу 1. Із певним наближенням кавітаційні газо-повітряні мікробульбашки тут можна трактувати як своєрідне «повітряне мастило», що змащуючи поверхню корпусу 1 дрона-катера, стрімко понижує опір забортової води його переміщенням. Як наслідок, це сприяє пониженьню в'язкості та густини кавітаційно обробленої забортової води на 30-40%, пропорційно нарощуючи при цьому швидкість руху дрон-катера. Підвищення швидкості дрон-катера сягатиме при цьому 25÷30%, що суттєво покращує його маневреність та ймовірність успішного виконання бойового завдання на ураження завчасно обраної цілі противника. Досягнувши заданої цілі дрон-катер на доволі великій швидкості зіштовхується з нею, наприклад, із бортом ворожого корабля. Від удару спрацьовує детонатор, який провокує вибух боезаряду 10. Вибух боезаряду руйнує осколками та вибуховою хвилею завчасно обрану операторами ціль, а також і безпосередньо сам дрон-катер.

Підвищення швидкості на заключному етапі спрямування дрона-катера на завчасно обрану ціль понижує тривалість його перебування у небезпечній зоні ураження з боку противника. Переважно, із врахуванням хвильового збурення на поверхні моря та порівняно незначних розмірів дрона-катера в межах 1x5x0,7м сили берегової оборони та кораблів противника радарми чи ехолотами виявляють та відслідковують рух дрона-катера на віддалі 2,5-3,0км від об'єкта ураження. При усталеній крейсерській максимальній швидкості дрона-катера в діапазоні 75-80км/год. цю віддаль він подолає за 2,3-2,4 хвилини. При застосуванні силами оборони противника сучасної автоматизованої стрілецької зброї, оснащеної радарми для виявлення і відслідковування дронів, та комп'ютерними обчислювальними програмами для автоматизованого наведення на ціль зенітних кулеметів, цього часу достатньо для ураження дрона-катера.

У випадку застосування ультразвукового генератора для збурення під днищем дрона-катера кавітаційних явищ швидкість дрона-катера підвищиться до 95-100 км/год. Відповідно до 1,7 - 1,8 хвилин, тобто на 25-26% зменшиться тривалість перебування дрона-катера у найнебезпечнішій зоні ураження, а отже і пропорційно на 25 – 30% понизиться ймовірність його ураження противником. Поряд з тим, нарощування швидкості дрона-катера на момент його зіткнення із завчасно обраною ціллю до 95-100км/год. збільшить його кінетичну енергію, а відповідно і пропорційно квадрату нарощування швидкості збільшить руйнівну силу механічного удару однотонного дрона-катера із, наприклад, бортом ворожого корабля. Тим самим збільшуючи ступінь його пошкодження.

Висновки

1. Аналіз впливу різнопланових чинників на швидкість руху дронів-катерів по морській водній поверхні відображає, що одним із найвагомішим з них є гідродинамічний опір забортової води переміщенням в ній твердих тіл. Цей гідродинамічний опір води пропорційний швидкості руху дрона-катера та динамічній в'язкості забортової води.
2. Оскільки швидкість руху дрона-катера є одною із основних його тактико-технічних характеристик і її необхідно максимально збільшувати, зменшення гідродинамічного опору омиваючої корпус дрона-катера води при незмінній потужності двигуна його приводу залишається єдиним шляхом, спроможним нарощувати швидкість бойового дрона-катера.
3. Із практик застосування кавітації у технологічних процесах відомо, що збурені високочастотними ультразвуковими електромагнітними хвилями кавітаційні явища в газо-рідинних середовищах супроводжуються лавиноподібним виділенням із блоків молекул води розчинених в них повітря та газів у вигляді мікроскопічних бульбашок. Закономірно, що порушені кавітацією мікромолекулярні зв'язки блоків молекул води виділенням з них газо-повітряних мікробульбашок супроводжуються пониженьням динамічної в'язкості сформованого кавітацією газо-рідинного середовища.
4. Облаштування в корпусі дрона-катера ультразвукового генератора, випромінювачі якого опромінюватимуть омиваючу його корпус забортову воду високочастотними пульсуючими електромагнітними хвилями, сприятиме формуванню під днищем корпусу кавітаційної області із виділеними з наявної води газо-повітряних мікробульбашок. Динамічна в'язкість такого сформованого кавітацією газо-рідинного середовища на 30-40% менша в'язкості омиваючої корпус та днище дрона-катера забортової води. Правомірно очікувати, що це сприятиме зменшенню на 25-30% сил гідродинамічного опору води переміщенням в ній дрона-катера, а відповідно, і пропорційному нарощуванню його швидкості.
5. Конструктивна схема запропонованого ультразвукового генератора для підвищення швидкості руху дрона-катера ідентична конструктивній схемі типових апаратів для ультразвукового зварювання, дешеві деталі та вузли яких масово виготовляються промисловими підприємствами.

Література

1. Патент України № 71774 А. Конструкція корпусу катера /С.М. Орлов, заявлено 16.12.2003р., опубл. 15.12.2004. Бюл. № 12/2004.

2. Патент України № 89384 Розбірна байдарка /В.О. Умнов, С.В. Марченко, заявл.17.06.2013; реєстраційний номер u201307626, опубл. 25.04.2014. Бюл. №8/ 2014.
3. Патент України № 1946 Човен /О.Б. Тельчаров, заявл.05.12.2002; реєстраційний номер заявки u2002129736, опубл. 15.08.2003, бюл№8/2003.
4. Патент України № 68935 Човен / І.О. Стахорський, А.В. Постельников, В.В. Березовський, заявл. 30.11.2011, реєстраційний номер заявки u20111417, опубл. 10.04.2012, бюл. № 7/2012.
5. Бут Ю.І., Медвідь В.П. Еволюція торпедної зброї: історія та сучасність. Воєнно-історичний вісник 3(29)/2018. *Збірник наукових праць Національного університету оборони України*, Київ, 2018, С.139-147.
6. Шевчук Л. І. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти : монографія / Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський: М-во освіти і науки України, Нац. ун-т. «Львів. політехніка». – Львів : *Вид-во Львів. політехніки*. 2014. – 376 с.
7. Шевчук Л. І. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган, В. Л. Старчевський – Львів: *Вид-во Львів. політехніки*, 2013. – 176 с.
8. Патент України № 125799 UA, F02M 25/022, F02B 47/02 Спосіб підготовки палива для двигунів внутрішнього згоряння /І. С. Афтаназів, Л. І. Шевчук ; заявл. 27.01.2020 ; опубл. 08.06.2022, Бюл. № 23, 2022 р.
9. I Beryuk, I Nazarenko Дослідження хвильового опору рідинно-дисперсних середовищ в умовах ультразвукової кавітаційної обробки. *Mechanics and Advanced Technologies*, 5(3), 2021, С.351 -358.
10. I Beryuk, I Nazarenko, O Luhovskyi [Дослідження та визначення акустичних параметрів руху кавітаційної бульбашки в рідинному середовищі за дискретною та континуальною моделями](#) *Mechanics and Advanced Technologies* 6 (2), 2022, С.195-202.
11. Морський надводний дрон <https://www.youtube.com/watch?v=uLM3O2zIt1E>.uk.wikipedia.org/wiki/MAGURA_V5

References

1. Patent Ukraine № 71774 A. Konstruktsiia korpusa katera /S.M. Orlov, zaiavleno 16.12.2003r., opubl. 15.12.2004. Biul. № 12.
2. Patent Ukraine № 89384 Rozbirna baidarka /V.O. Umnov, S.V. Marchenko, zaiavl.17.06.2013; reiestratsiyni nomer u201307626, opubl. 25.04.2014. Biul. №8.
3. Patent Ukraine № 1946 Choven /O.B. Telcharov, zaiavl.05.12.2002; reiestratsiyni nomer zaiavky u2002129736, opubl. 15.08.2003. Biul. №8.
4. Patent Ukraine № 68935 Choven /I.O. Stakhorskyi, A.V. Postelnykov, V.V. Berezovskyi, zaiavl. 30.11.2011, reiestratsiyni nomer zaiavky u20111417, opubl. 10.04.2012. Biul. № 7.
5. But Yu.I., Medvid V.P. Evoliutsiia torpednoi zbroi: istoriia ta suchasnist. Voinno-istorychnyi visnyk 3(29)/2018. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy*, Kyiv, 2018, 139-147 [in Ukrainian].
6. Shevchuk L. I. Kavitatsiia. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty: monohrafiia /L. I. Shevchuk, V. L. Starchevskyi: M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. un-t. «Lviv. politekhnik». – Lviv: *Vyd-vo Lviv. politekhniky*. 2014. – 376 [in Ukrainian].
7. Shevchuk L. I. Nyzkochastotni vibrorazonansni kavitatory : monohrafiia / L. I. Shevchuk, I. S. Aftanaziv, O. I. Strohan, V. L. Starchevskyi – Lviv: *Vyd-vo Lviv. politekhniky*, 2013. – 176 376 [in Ukrainian].
8. Patent Ukraine № 125799 UA, F02M 25/022, F02B 47/02 Sposib pidhotovky palyva dlia dvynuniv vnurtishnoho zghoriannia /I. S. Aftanaziv, L. I. Shevchuk; zaiavl. 27.01.2020; opubl. 08.06.2022. Biul. № 23.
9. I Beryuk, I Nazarenko Doslidzhennia khvylovoho oporu ridynno-dyspersnykh seredovyshch v umovakh ultrazvukovoi kavitatsiinoi obrobky. *Mechanics and Advanced Technologies*, 5(3), 2021, S.351 -358. [in English].
10. I Beryuk, I Nazarenko, O Luhovskyi Doslidzhennia ta vyznachennia akustychnykh parametriv rukhu kavitatsiinoi bulbashky v ridynnomu seredovyshchi za dyskretnoiu ta kontynualnoiu modeliamy *Mechanics and Advanced Technologies* 6 (2), 2022, S.195-202 [in English].
11. Morskyi nadvodnyi dron <https://www.youtube.com/watch?v=uLM3O2zIt1E>.uk.wikipedia.org/wiki/MAGURA_V5.