

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**СТРОГАН ОРІСЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

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

Національний університет «Львівська політехніка»

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

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0401-5475>e-mail: lesia.r.strytynska@lpnu.ua

РАКЕТИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ПРИШВИДШУВАЧЕМ

Наведено опис вдосконаленої конструктивної схеми ракет протиповітряної оборони із пристроєм збільшення її швидкості польоту. Доведено, що швидкість польоту ракети значною мірою залежна від сил опору повітряних мас і потоків, в яких здійснюється просторове переміщення ракети. Запропоновано для зменшення сил опору огинаючих ракету повітряних потоків опромінювати їх енергією високочастотних електромагнітних ультразвукових хвиль.

Описана запропонована конструктивна схема ультразвукового генератора, що розташовується у носовій частині ракети і опромінює ультразвуковим випромінювачем зустрічний повітряний потік при польоті ракети.

Виявлено механізм впливу високоенергетичних ультразвукових пульсуючих електромагнітних випромінювань на міжмолекулярні зв'язки складників повітряного потоку. Доведено, що ультразвукове опромінення повітряного потоку на 15-20% знижує його динамічну в'язкість, а відповідно, пропорційно знижує дію сил опору повітряного потоку переміщенню в ньому ракети. Зменшенням сил опору повітряного потоку та його в'язкості забезпечується пропорційне нарощування швидкості польоту ракети, а також дальності її польоту при незмінних запасах палива.

Ключові слова: ракета, повітря, сила опору, швидкість, генератор, ультразвук, електромагнітні хвилі.

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

AIR DEFENSE MISSILES WITH ULTRASONIC ACCELERATOR

A description of the improved structural scheme of air defense missiles with a device for increasing its flight speed is given. It is proved that the speed of the rocket is largely dependent on the resistance forces of the air masses and flows in which the spatial movement of the rocket is carried out. It is proposed to irradiate them with the energy of high-frequency electromagnetic ultrasonic waves in order to reduce the resistance of the air currents surrounding the rocket.

The proposed design scheme of the ultrasonic generator is described, which is located in the nose part of the rocket and irradiates the oncoming air flow with an ultrasonic emitter during the flight of the rocket. The main components of the proposed ultrasonic generator of high-frequency electromagnetic radiation are a generator of high-frequency pulses, an amplifier of these pulses, a resonator and an emitter, which are fed from a common source of electric current. All the components of the ultrasonic generator are located behind the nose part of the rocket inside the body, and the surface of the emitter of electromagnetic high-frequency waves coincides with the surface of the nose part and is in contact with the air flow that surrounds the body of the rocket in flight.

It is recommended to choose the frequency of radiation from the ultrasonic generator of electromagnetic pulses from the range of 18-44 kHz, depending on the flight speed of the rocket and the temperature, atmospheric pressure and humidity of the air masses in which flights are planned.

The mechanism of influence of high-energy ultrasonic pulsating electromagnetic radiation on the intermolecular bonds of air flow components has been revealed. It has been proven that ultrasonic irradiation of the air flow reduces its dynamic viscosity by 15-20%, and accordingly, proportionally reduces the effect of the resistance forces of the air flow to the movement of the missile in it. The reduction of air flow resistance and its viscosity ensures a proportional increase in the missile's flight speed, expected by 10-15%, i.e. by 70-120 m/s on average.

In proportion to the decrease in the resistance forces of air flows surrounding the rocket, its flight range will also increase by 10-15% with unchanged fuel reserves.

Key words: rocket, air, resistance force, speed, generator, ultrasound, electromagnetic waves.

Вступ

Інтенсивні воєнні події на території України, обумовлені віроломним нападом на неї військ Російської федерації, засвідчили відчутні видозміни у характері проведення військових дій як з боку

наступаючих військ, так і з боку сил оборони в умовах сучасної війни. На відміну від попередніх воєнних протистоянь, де чільні місця у проведенні воєнних дій на суші відводились артилерії та бронетанковим військам, сучасна війна характеризується превалюючою роллю оснащених ракетним озброєнням та авіаційними бомбами повітряних сил, включно із безпілотними літальними апаратами. Прицільні удари БПЛА на передовій лінії вогню виявилися не менш ефективними для ураження бойової техніки та живої сили противника, ніж артилерійські обстріли. Керовані авіаційні бомби та ракетне озброєння літаків наносять нищівні удари як у прифронтовій зоні, так і по віддалених від неї на сотні кілометрів території противника, руйнуючи не лише об'єкти інфраструктури противника, а і житлові споруди громадян. Яскраве підтвердження цьому вщент зруйновані ракетно-бомбовими ударами такі міста України як Бахмут та Авдіївка. Як Харків, Херсон та Одеса, що нещадно мало не щоденно піддаються руйнівним ударам безпілотниками типу Shahed 131/136, крилатими та балістичними ракетами. І найстрашніше, що при цьому гинуть люди, життя котрим не повернути жодним коштом!

Із огляду на реалії сьогодення можна переконливо стверджувати, що протистояти такій агресії можна виключно силами протиповітряної оборони, оснащеними переважаючим за своїми тактико-технічними характеристиками ракетним озброєнням. Рано чи пізно Україні, як воюючій незалежній державі, доведеться налагодити масове виробництво власного ракетного озброєння різноманітних типів та призначення, спроможного протистояти озброєнню ворога та перевершувати його за своїми характеристиками та руйнівною здатністю. Яскраве підтвердження цьому – досвід створення «залізного купола» в Ізраїлі та практика успішного використання Україною американських протиракетних систем “Patriot”.

Формулювання проблеми дослідження

У сучасних технологічних процесах ультразвук, ультразвукові електромагнітні випромінювання, збудені ними кавітаційні процеси в газово-рідинних середовищах мають доволі широке застосування. Так добре відомі пристрої, що для вдосконалення певних технологічних процесів використовують енергію ультразвукових електромагнітних коливань. Наприклад, ультразвуковий зварювальний апарат, який із поміж іншого надає можливість зварювати між собою деталі із кольорових металів та сплавів [1]. Його основними складовими елементами є електричне джерело живлення, перетворювач електричних сигналів у пульсуючі високочастотні, генератор ультразвукових коливань, резонатор та робочий інструмент – випромінювач ультразвукових електромагнітних хвиль високої частоти. Поверхні з'єднувальних зварюванням деталей завчасно зачищають та знежирюють, щільно притискають місця зварювання між собою та піддають дії ультразвукових електромагнітних коливань. Під дією енергії ультразвуку та взаємного тертя поверхневі прошарки матеріалу з'єднаних деталей нагріваються, а матеріал їх поверхневих прошарків взаємно дифундує із товщі матеріалу однієї деталі в матеріал іншої, забезпечуючи надійне з'єднання так званим «сухим зварюванням» деталей між собою. І основним критерієм, що забезпечує тут як безпосередньо сам процес взаємного з'єднання деталей, так і надійність та міцність цього з'єднання, це надана безпосередньо з'єднаним деталям енергія ультразвуку.

Даний приклад свідчить про спроможність ультразвукових високочастотних електромагнітних випромінювань до передачі окремим деталям чи у навколишній простір значних до декількох сотень кілоджоулів енергії, яка успішно може бути використаною для певних технологічних цілей. Наприклад, як у приведеному прикладі для зварювання деталей.

Одним із найрозповсюдженіших явищ, що супроводжують використання в технологічних процесах ультразвукових високочастотних коливань є збудення кавітації. Його суть полягає у тому, що під дією ультразвуку в рідинних потоках формуються наповнені повітрям мікробульбашки, що у поєднанні з рідиною створюють об'ємну кавітаційну область. Такі явища спостерігаються за гребним гвинтом морських суден на підвищених частотах обертання гвинта. Інтенсивне збудення кавітаційних явищ спостерігається і у трубопроводах в місцях стрімкої зміни діаметрів труб та водозапірної апаратури. Кавітаційні процеси у вище приведених прикладах 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 кавітаційне перемішування газорідинних сумішей, яке полягає у формуванні в рідинному потоці значної кількості зважених газових мікробульбашок. Таким чином покращують паливо двигунів внутрішнього згоряння, насичуючи його мікробульбашками повітря для покращення повноти згоряння палива. Найефективнішим для цього виявилось застосування кавітаційного перемішування потоку палива дією на нього ультразвуку [2, 3]. 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.

Отже ультразвукові високочастотні електромагнітні коливання спроможні впливати як на рідинне, так і на повітряне середовище видозмінюючи в ньому густину взаємонасичення рідини та газу. Тим самим видозмінюючи густину та в'язкість рідинно-повітряних сумішей, а отже і силу опору переміщенню в них твердих тіл.

Таким чином, зварювальні процеси із застосуванням ультразвукових високочастотних коливань 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 опору переміщенню в повітряному просторі твердих тіл, у тому числі і ракетного озброєння. Проте відсутні дані щодо застосування ультразвукових коливань та генеруючих їх пристроїв у відомих конструкціях ракетного озброєння.

Об'єктом даного дослідження була конструктивна будова бойового ракетного озброєння, методики та засоби покращення тактико-технічних характеристик ракет.

Предметом дослідження було вивчення та аналіз енергетичного впливу високочастотного електромагнітного випромінювання на молекулярну структуру високо швидкісних повітряних потоків.

Мета дослідження – розробка конструктивної схеми ракетного ультразвукового генератора для пришвидшення польоту бойових ракет.

Задачі дослідження:

- аналіз впливу ультразвукового опромінення високо швидкісного повітряного потоку на видозміни його молекулярно-структурної будови;
- розробка конструктивної схеми ракетного ультразвукового випромінювача високочастотних електромагнітних хвиль.

Огляд літературних першоджерел

В умовах сучасних військових протистоянь як ударне ракетне озброєння, так ракетні засоби протиповітряної оборони набувають виключно вагомих значень, що обумовлюють як успіх наступальних, так і спроможність оборонних дій противників [4]. Серед основних тактико-технічних характеристик та параметрів ракетного озброєння, що включають дальність польоту ракет та потужність вибухового заряду, не менше вагомим є і показник швидкості польоту ракети. Саме швидкість польоту ракет обумовлює їх маневреність та здатність протистояти засобам перехоплення противника. Особливою мірою це стосується ракетного озброєння сил ППО де перевищення швидкості ракети-перехоплювача надає їй відчутної переваги та нарощує ймовірність успішного виконання завдання на перехоплення та ураження ворожих ракет чи літальних апаратів.

Незаперечно, що основним конструктивним агрегатом, який розганяє ракету до її максимальної швидкості польоту є силова установка розвитку реактивної тяги [4]. Проте для нарощування реактивної тяги ракети неодмінно знадобиться збільшення потужності силової установки та запасів палива, що неодмінно вимагатиме нарощування і їх маси, і маси ракети загалом. А збільшення маси ракети при обмеженому її запасі палива зменшить дальність польоту та погіршить маневреність, а заодно і тактико-технічні характеристики.

Тому залишається чи не єдиний шлях у намірах підвищення швидкості ракет - це зменшення сил опору огортаючих ракету при її польоті повітряних мас. При цьому слід врахувати, що ці сили опору повітряних потоків не є сталими, а стрімко у степеневій залежності наростають по мірі збільшення швидкості польоту ракети. Якскравим прикладом перемінного впливу сил опору повітряних потоків на швидкість руху твердих тіл може служити вплив сил опору повітряних мас на рухомий вантажний великогабаритний автомобіль – якщо при швидкостях 20-30 км/год на подолання сил опору повітря витрачається лише 5-10% потужності двигуна, то при швидкостях понад 100 км/год на це витрачається до 30-35% його потужності [5].

Дослідженнями авторів робіт [6, 7] доведено, що сили опору повітряних потоків переміщенням в них твердих тіл обумовлені динамічною в'язкістю повітряних мас. Встановлено, що чим більша в'язкість повітряного потоку, тим більший опір повітряних мас швидкісному переміщенню в них твердих тіл [8]. Теоретико-експериментальними дослідженнями [9] доведено, що зменшити динамічну в'язкість повітряних мас можна або понижуючи в них температуру [10], або ж зменшуючи в них атмосферний тиск [11]. Процес пониження температури повітряних мас надто енергозатратний і тому не придатний для ракетного озброєння. А от зменшити тиск у огинаючих ракету повітряних потоках можна було б дією на них інтенсивного електромагнітного випромінювання [11].

Яскравим підтвердженням цьому є збурення кавітаційних процесів та явищ в газорідних середовищах дією на них високочастотного ультразвукового електромагнітного опромінення [12, 2]. Цей принцип пониження тиску та в'язкості у водяних середовищах при збуренні в них кавітаційних процесів міг би бути застосованим і для пришвидшення ракетного озброєння за умови створення відповідного устаткування.

Основні результати дослідження

Переважаю конструктивно бойові ракети складаються із корпусу у якому розташовані силова установка приводу реактивної дії, ємність із ракетним паливом та бойовий заряд із детонатором вибуху [4, 13]. На початку корпусу розміщена оптико-електронна система наведення та керування траєкторією лету, а у завершальній частині корпусу ракети розташовані закрilки керування траєкторією лету та сопло реактивної тяги для відведення продуктів згоряння палива і розвитку реактивної тяги.

Швидкість лету ракет такої конструктивної будови регламентується енергетичною потужністю спалюваного у силовій установці приводу палива та величиною розвинутої силовою установкою реактивної тяги. Розвинута реактивна тяга, своєю чергою, залежна від обсягу та швидкості відведених через сопло газопровідних продуктів згоряння палива, а також геометрії відповідного сопла.

Найвагомішим чинником, що обмежує швидкість лету ракет даного типу є опір пронизуваного ракетою повітряного потоку, який сприймається носовою частиною ракети та проявляється як результат тертя повітряного потоку об корпус та зовнішні елементи ракети. Саме із метою зменшення сил опору повітряного потоку ракетама надають витягнутої стрілоподібної форми, намагаючись тим самим зменшити так званий

«лобовий опір» повітря та сили його тертя об корпус ракети.

Проте цього конструктивного рішення щодо зменшення сил опору повітряного потоку недостатньо.

У повітряних потоках до 20% розчиненої водяної пари. Дія ультразвукових електромагнітних випромінювань на водяну пару проявляється у руйнуванні міжмолекулярних зв'язків у невидимих неозброєним оком мікрокраплях цієї пари та вивільненні з них мікробульбашок розчинених у воді крапель газів. Під дією енергії ультразвуку лавиноподібно із мікрокрапель водяної пари вивільнюються мікробульбашки азоту, кисню та інших газів. Повітряно-газові мікробульбашки, сполучаючись між собою, наростають у своєму об'ємі до певних обумовлених атмосферним тиском розмірів і сплескують руйнуючись. При цьому вивільнюються додаткові ударні мікрохвилі, що лавиноподібно спонукають до зародження нових мікробульбашок, наповнених повітряно-газовою сумішшю. Таким чином формується нестійка за своїми оточуючими її межі кавітаційна область із пониженою в'язкістю повітря. Пониженою в'язкістю повітряної маси завдяки тому, що мікрокрапельки наявної у повітрі водяної пари під дією ультразвукового опромінення видозмінюють свою будову та структуру, повністю видаляючи з своєї структури молекули колись розчиненого в них повітря та газів.

Порівняно із оточуючими ракету в польоті повітряними масами розміщена перед носовою частиною ракети утворена ультразвуковим опроміненням кавітаційна область, завдяки пониженій в'язкості, меншою мірою протидіє переміщенню в ній ракети.

На відміну від звичного режиму переміщення ракети у повітряних масах, де мікрокраплі розчиненої у повітрі водяної пари, контактуючи із корпусом ракети завдяки доволі відчутним силам поверхневого натягу пригальмовують її рух, переміщення ракети в огортаючій її кавітаційній «капсулі» майже позбавлене сповільнюючої дії сил поверхневого натягу з боку мікрокрапель водяної пари. Закономірно, що швидкість польоту ракети при цьому наростає пропорційно пониженням в'язкості огортаючого ракету повітряного потоку та обумовленого цим зменшення дії сил опору руху ракети.

Із довідникових даних відомо, що динамічна в'язкість повітря при нормальних атмосферних умовах знаходиться в межах $(18,5-18,6) \times 10^{-6}$ Па·с. У дослідженнях [2, 12, 14] експериментально встановлено, що в'язкість опроміненого високочастотним ультразвуковим опроміненням газоповітряної суміші при аналогічних температурі та тиску знижується до $(11,4-11,5) \times 10^{-6}$ Па·с.

Враховуючи, що в огортаючому ракету із ультразвуковим пришвидшувачем сформованому ультразвуковим опроміненням кавітаційному просторі мікрокраплі водяної пари позбавлені розчинених в них молекул повітря та газів, можна вважати, що в'язкість кавітаційної області буде понижена до певного опосередкованого значення. Тобто

$$\eta_K = \frac{1}{2}(\eta_{e,n} + \eta_c) = \frac{1}{2}(18,6-11,5) \times 10^{-6} = 15,1 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с},$$

де η_K - забезпечувана ультразвуковим пришвидшувачем динамічна в'язкість огинаючого ракету повітряного потоку;

$\eta_{e,n} = 18,6 \times 10^{-6}$ Па·с - в'язкість атмосферного повітря із водяною парою за нормальних умов атмосферного тиску;

$\eta_c = (11,5-12) \times 10^{-6}$ Па·с - в'язкість опроміненої ультразвуком кавітаційної газоповітряної зони за нормальних умов атмосферного тиску.

У процентному співвідношенні відносно суміші повітря та водяної пари це пониження в'язкості огинаючого ракету повітряного потоку становитиме 15-20%. Правомірно очікувати, що таке пониження в'язкості пропорційно понизить і величину сил опору повітряних потоків польоту ракети. А відповідно і сприятиме на 10-15% підвищенню її швидкості польоту.

На рис.1 відображена конструктивна будова бойової ракети із ультразвуковим пришвидшувачем її руху. Основними складовими відображеної на рис.1 бойової ракети є корпус 1, його носова частина 2 із блоком 3 оптико-електронного наведення та керування польотом, та хвостова частина із соплом 4 реактивної тяги. Для регулювання траєкторії польоту ракета оснащена закрилками 5. Всередині корпусу 1 розміщені бойовий заряд 6 із детонатором та силова установка 7 із ємністю 8 запасу палива.

Для пришвидшення польоту ракети вона оснащена розташованим у корпусі 1 за носовою частиною 2 ультразвуковим генератором 9, до складу якого входять спільне для усіх споживачів електроенергії ракети джерело живлення 10, наприклад, у вигляді акумуляторної батареї АБ, генератор високочастотних імпульсів 11, підсилювач 12 із резонатором 13 та випромінювач 14 ультразвукових високочастотних електромагнітних хвиль. Усі складові ультразвукового генератора з'єднані між собою та із джерелом живлення 10 електричною мережею 15. Випромінювач 14 розташовано на зовнішній поверхні носової частини 2 ракети таким чином, що випромінювані ним електромагнітні хвилі спрямовано назвни в напрямку польоту ракети.

Експлуатація запропонованої ракети відбувається наступним чином. Через незначний час після запуску ракети з пускової установки чи від'єднання її від пілона піднятого на певну висоту в повітря літака-носія відбувається запуск силової установки 7 ракети, розміщеної в її корпусі 1. У результаті спалювання палива 8 в силіній установці 7 формується струмінь газових продуктів згоряння, який виходячи через сопло 4 розвиває потужний газовий потік реактивної тяги. Ракета розганяється до заданої блоком 3 наведення та керування польотом швидкості, регулюючи при цьому закрилками 5 висоту та напрям свого польоту.

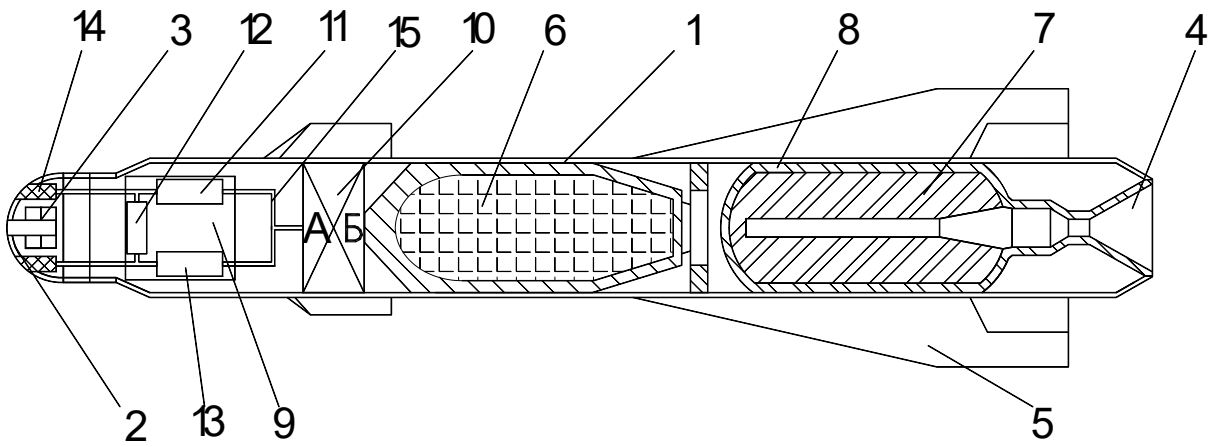


Рис. 1. Конструктивна будова бойової ракети із ультразвуковим пришвидшувачем її руху.
Джерело: розроблено авторами

Після набору ракетою заданих висоти та швидкості польоту блоком 3 наведення та керування польотом вмикається розташований за носовою частиною 2 ультразвуковий генератор 9 пришвидшення польоту ракети. Його принцип дії аналогічний принципу дії усіх типових ультразвукових генераторів і полягає у перетворенні генератором 11 поданого по електричній мережі 15 постійного струму акумулятора живлення 10 у високочастотні імпульси. Генеровані високочастотні імпульси підсилюються підсилювачем 12 та резонатором 13 до частот ультразвуку і подаються на облаштований у носовій частині 2 ракети випромінювач 14. Випромінювач 14 контактує із сформованим рухом ракети зустрічним повітряним потоком, опромінюючи його ультразвуковими високочастотними електромагнітними імпульсами.

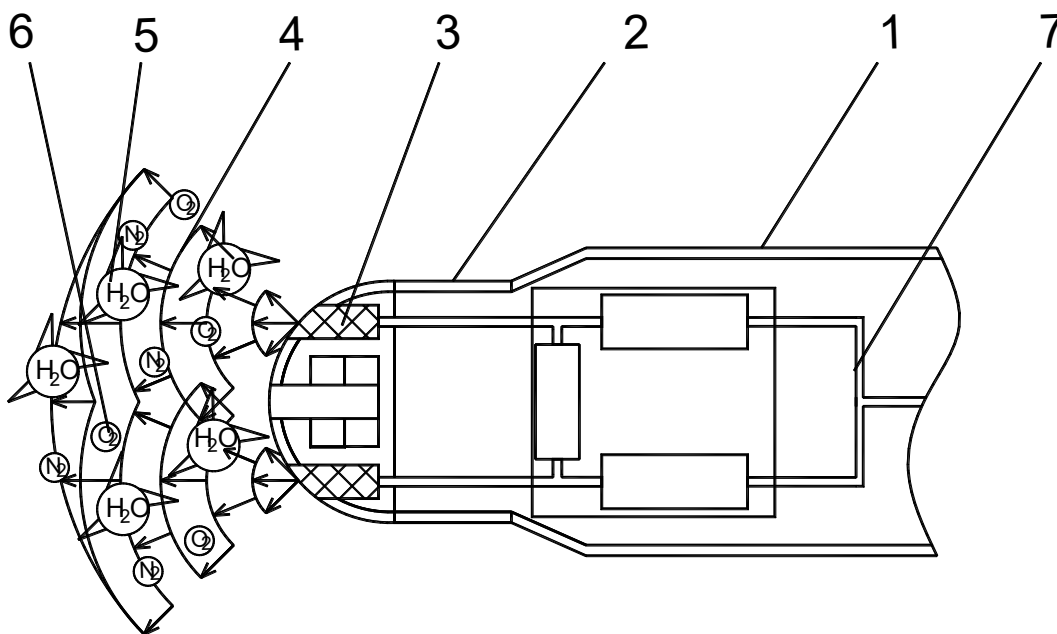


Рис. 2. Вплив ультразвукового випромінювання на повітряний простір перед носовою частиною ракети
Джерело: розроблено авторами

Схема впливу ультразвукового випромінювання на повітряний простір перед носовою частиною ракети відображено на рис. 2. Закріплений на носовій частині 2 ракети 1 випромінювач 3 із частотою в діапазоні частот ультразвуку 18–44 кГц генерує високочастотні ультразвукові електромагнітні імпульси 4. Оскільки швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль співрозмірна швидкості світла і суттєво перевищує швидкість руху ракети 1, то перед її носовою частиною формується напівсферична область, що постійно енергетично насичена електромагнітними пульсуючими імпульсними мікрохвилями.

У звичному стані повітряна суміш містить конгломерат броунівського руху перемішаних між собою молекул власне самого повітря, що приблизно на 78-79% складається із азоту та біля 20% кисню, а також хаотично розмішених к ньому в обсязі 2 – 3% мікрокрапель води у вигляді водяної пари та молекул різноманітних супутніх газів, включно із вуглекислим газом. Невидимі неозброєним оком наявні у повітряній суміші мікрокраплі води, у відповідності закону Генрі - Дальтона, теж вміщують розчинені в них молекули

повітря та інших газів. При цьому зв'язок між цими складовими природної повітряної суміші доволі міцний. Саме цей міжмолекулярний зв'язок і обумовлює формування сил опору переміщенням у повітряному просторі будь-яких твердих тіл. Більше того, по мірі наростання швидкості руху тіл у молекулярній суміші повітряного простору пропорційно наростають і сили її опору цьому переміщенню.

При вмиканні блоком 2 керування та наведення ракети 1 ультразвукового генератора його випромінювач 3 формує перед рухомою ракетою область електромагнітного ультразвукового опроміненого повітряного потоку. При цьому із розчинених у повітряній суміші мікрокрапель води під дією ультразвукового опромінення інтенсивно формуються кавітаційні мікробульбашки повітря та інших розчинених у водяній парі газів. Часова тривалість існування цих повітряних мікробульбашок вимірюється тисячними долями мілісекунд. Набувши певного розміру та внутрішнього тиску ці газоповітряні кавітаційні мікробульбашки схлопують і щезають, а на їх місці лавиноподібно формуються інші.

І як наслідок – розчинені у повітряній суміші, крізь яку переміщається у повітряному просторі ракета, мікрокрапельки води, постаючи джерелом формування кавітаційних повітряних мікробульбашок, втрачають міцність власних міжмолекулярних зв'язків. А відповідно - і здатність до протистояння високошвидкісному переміщенню в такій кавітаційній об'ємній області ракети. При увімкненому ультразвуковому випромінюванні електромагнітні хвилі, завдяки тому, що швидкість їх розповсюдження суттєво перевищує швидкість руху ракети, перед носовою частиною 2 корпусу 1 ракети невпинно формується об'ємна кавітаційна зона із пониженими густиною і в'язкістю повітряного потоку. А відповідно - із пониженою дією сил опору повітряного потоку польоту ракети. Саме це і забезпечує підвищення швидкості лету ракети та можливої віддаленості її бойової дії.

На завершальному етапі польоту бойової ракети при ураженні нею цілі від удару спрацьовує детонатор бойового заряду 6, вибух якого і завершує покладену на ракету місію.

Рекомендовано частоту випромінювання ультразвуковим генератором електромагнітних імпульсів обирати із діапазону 18 – 44 кГц у залежності від швидкості польоту ракети та температури, атмосферного тиску і вологості повітряних мас, у яких планується здійснення польотів.

Оснащення ракети малої, середньої та великої дальності генератором ультразвукових електромагнітних хвиль дозволяє приблизно на 15-20% понизити в'язкість повітря перед носовою частиною рухомої ракети, а також частково зменшити сили тертя «озвученого ультразвуком» огинаючого корпус ракети повітря. Очікується, що зменшення сил опору повітряної маси при незмінній потужності двигуна приводу забезпечить пропорційне підвищення швидкості польоту ракети в межах 10-15%, тобто в середньому на 70 – 120 м/с. Підвищення швидкості польоту ракети скорочує час її прильоту до завчасно обраної цілі, зменшуючи тим самим ймовірність перехоплення ракети силами протиповітряної оборони противника.

Поряд із підвищенням швидкості польоту ракети при незмінному обсязі запасу палива завдяки забезпечуваному ультразвуковим опроміненням зменшенню сил опору повітря польоту ракети пропорційно, тобто на 10-15%, зростає і дальність польоту ракети. Це нарощує дальність зони ураження ракетою, тобто покращує її тактико-технічні характеристики. Генератором ультразвукових електромагнітних випромінювань можуть бути оснащені бойові ракети малої, середньої та великої дальності усіх різновидів та класів цільового призначення.

Обговорення результатів дослідження

Незаперечно, що ті чи інші інженерні рішення та пропозиції щодо вдосконалення та покращення тактико-технічних характеристик будь-якого різновиду бойового озброєння, неодмінно повинні пройти прискіпливу перевірку не лише на пробних стендових чи експлуатаційних випробуваннях, а бажано, і випробування в умовах проведення бойових дій. На превеликий жаль у сьогоденні територія воюючої України, а особливою мірою її східні та південні області, перетворились на величезний полігон, де активно проводяться бойові випробування найрізноманітнішого сучасного тактичного та стратегічного озброєння. Яскравий приклад цьому невпинні вдосконалення як конструктивних схем, так і руйнівної потужності безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Із екзотичних мало не іграшкових моделей розвідувальних дронів лише за два роки свого застосування БПЛА перетворились на грізну зброю як розвідувального, так і руйнівного характеру. Закономірно, що так же активно почали розвиватися і засоби РЕБ (радіо-електронної боротьби) як протипага застосуванню безпілотних літальних апаратів.

Не оминули своєю увагою дослідники і озброєння військової авіації. Фактично вперше у військових протистояннях агресор активно почав застосовувати так звані КАБи - крилаті авіаційні бомби великої руйнівної здатності.

Потребує вдосконалення і ракетне озброєння, особливо сил протиповітряної оборони. Тому закономірно, що автори даної наукової праці, маючи великий досвід у технологічному застосуванні ультразвуку, в дослідженнях його впливу на структуру та властивості газорідних середовищ [12, 14], а також у розробці нового класу віброрезонансних ультразвукових кавітаторів [15, 16], запропонували дієвий, на їх думку, ультразвуковий пристрій для пришвидшення польоту ракет. Він може бути особливою мірою ефективним для ракет ППО, де швидкість засобів перехоплення ворожих літальних апаратів та ракет має визначальну вагомість.

Зрозуміло, що дана конструкторська пропозиція потребує ґрунтовної експериментальної перевірки. На жаль розробники в обмежених умовах науково-дослідних лабораторій НУ «Львівська політехніка» такої можливості не мають. Тому експериментальну перевірку доцільно провести виробникам ракетного

озброєння. Тим більше, що оснащення експериментальної ракети ультразвуковим опромінювачем не передбачає відчутних витрат на його застосування. Адже для експериментальної моделі можна застосувати облегшені типові складові традиційного ультразвукового обладнання, наприклад, від ультразвукових зварювальних апаратів.

Тут слід відзначити, що позитивний ефект ультразвукового опромінення огинаючого ракету повітряного потоку пропорційно наростатиме по мірі збільшення швидкості літального апарату понад (2-2,5) М, тобто понад подвійне значення швидкості звуку.

Висновки

1. Аналіз впливу різнопланових чинників на швидкість переміщень ракет у повітряному просторі відображає, що найвагомим із них є опір огинаючих ракету повітряних потоків. Цей опір повітряних потоків пропорційний швидкості польоту ракети та динамічній в'язкості огинаючого ракету при польоті повітря.

2. Оскільки швидкість польоту ракети є одною із основних її тактико-технічних характеристик і її необхідно максимально збільшувати, зменшення опору огинаючого ракету повітряного потоку при незмінній потужності двигуна її приводу, залишається єдиним критерієм, спроможним нарощувати швидкість польоту ракети.

3. Із практик застосування кавітації у технологічних процесах відомо, що збудені високочастотними ультразвуковими електромагнітними хвилями кавітаційні явища в газорідних середовищах супроводжуються лавиноподібним виділенням із блоків молекул води розчинених в них повітря та газів у вигляді мікроскопічних бульбашок. Закономірно, що порушені кавітацією мікрмолекулярні зв'язки блоків молекул води виділенням з них газоповітряних мікробульбашок супроводжуються пониженням динамічної в'язкості сформованого кавітацією газорідного середовища.

4. Облаштування у носовій частині ракети ультразвукового генератора, випромінювач якого опромінюватиме огортаючий ракету повітряний потік високочастотними пульсуючими електромагнітними хвилями, сприятиме формуванню перед носовою частиною ракети кавітаційної області із виділеними з мікрокрапель наявної в повітряних масах водяної пари газоповітряних мікробульбашок. Динамічна в'язкість такого сформованого кавітацією газоподібного повітряного середовища на 15-20% менша в'язкості огинаючого ракету повітряного потоку. Правомірно очікувати, що це сприятиме зменшенню на 10-15% сил опору повітряних мас польоту ракети, а відповідно, і пропорційному нарощуванню її швидкості.

5. Конструктивна схема запропонованого ультразвукового генератора для підвищення швидкості польоту ракет ідентична конструктивній схемі типових апаратів для ультразвукового зварювання, дешеві деталі та вузли яких масово виготовляються промисловими підприємствами.

Запропонована конструктивна схема ультразвукового пришвидшувача польоту ракет вимагає ґрунтовної експериментальної перевірки, здійснити яку спроможні лише підприємства, що виготовляють та випробовують ракетне озброєння.

Література

1. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв ; за заг. ред. Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017. – 346 с.
2. Increasing the productivity of ultrasonic liquid atomizers / A. Zilinskyi, V. Fesich, O. Lugovskyi, A. Lavrynenkov // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2017. – № 80 (2). – Р. 113–122.
3. Берник І. Дослідження хвильового опору рідинно-дисперсних середовищ в умовах ультразвукової кавітаційної обробки / І. Берник, І. Назаренко, О. Луговской // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2021. – № 5 (3). – Р. 351–358.
4. Гайда П. І. Основи теорії польоту і конструкції ракет : навч. посіб. / П. І. Гайда, П. Є. Трофименко, М. М. Ляпа. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2011. – 248 с.
5. Теорія експлуатаційних властивостей : навч. посіб. / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 163 с.
6. Гашук П. М. Теорія автомобіля: Колесо / П. М. Гашук, Т. Г. Миськів. – Львів : Укр. технології, 2010. – 256 с.
7. Грабчак В. І. Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху снарядів / В. І. Грабчак, С. В. Бондаренко // *Військово-технічний збірник*. – 2013. – № 2. – С. 13–19.
8. Липницький Ю. М. Аеродинамика баллистического полета / Ю. М. Липницький, А. В. Красильников, А. Н. Покровский, В. Н. Шманенков ; [под ред. Липницкого Ю. М.]. – М. : Физматлит, 2003. – 176 с.
9. Грабчак В. І. Апроксимація функцій аеродинамічних коефіцієнтів сили опору повітря методом найменших квадратів / В. І. Грабчак // *Військово-технічний збірник*. – 2012. – № 2. – С. 20–24.
10. Лисенко О. М. Основи газової хроматографії : навч. посіб. / О. М. Лисенко, Т. В. Ковальчук, В. М. Зайцев. – Київ, 2013. – 166 с.
11. Краснов Н. Ф. Аеродинамика отрывных течений / Н. Ф. Краснов, В. Н. Кошевой, В. Т. Калугин ; [под ред. Краснова Н. Ф.]. – М. : Высш. шк., 1988. – 351 с.
12. 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.

13. Аналіз особливостей побудови і застосування перспективних систем управління високоточною зброєю. Активні головки самонаведення / А. Б. Скорик, М. І. Камчатний, Є. В. Моргун [та ін.] // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 3 (55). – С. 36–43.

14. 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.

15. Пат. 66134 UA, МПК (2011.01): A61L 2/02 (2006.01), B01J 19/00 Пристрій для збурення пневмогідравлічної кавітації / В. Л. Старчевський, Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів ; заявник Національний університет "Львівська політехніка". – u201106784 ; заявл. 30.05.2011 ; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24, 2011 р.

16. Пат. 125799 UA, МПК (2006): F02M 25/022 (2006.01), F02B 47/02 (2006.01), F02M 43/00, F02M 27/00, F23K 5/12 (2006.01) Спосіб підготовки палива для двигунів внутрішнього згоряння / І. С. Афтаназів, Л. І. Шевчук ; заявник Афтаназів Іван Семенович. – a202000454 ; заявл. 27.01.2020 ; опубл. 08.06.2022, Бюл. № 23, 2022 р.

References

1. Spetsialni sposoby zvariuvannya : pidruchnyk / I. V. Krivshchun, V. V. Kvasnytskyi, S. Yu. Maksymov, H. V. Yermolaiev ; za zah. red. B. Ye. Patona. – Mykolaiv : NUK, 2017. – 346 s.
2. Increasing the productivity of ultrasonic liquid atomizers / A. Zilinskyi, V. Fesich, O. Lugovskyi, A. Lavrynenkov // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – № 80 (2). – P. 113–122.
3. Beryk I. Doslidzhennia khvylovoho oporu ridynno-dyspersnykh seredovyshch v umovakh ultrazvukovoi kavitatsiinoi obrobky / I. Beryk, I. Nazarenko, O. Luhovskoi // Mechanics and Advanced Technologies. – 2021. – № 5 (3). – P. 351–358.
4. Haida P. I. Osnovy teorii polotu i konstruktсии raket : navch. posib. / P. I. Haida, P. Ye. Trofymenko, M. M. Liapa. – Sumy : Sum. derzh. un-t, 2011. – 248 s.
5. Teoriia ekspluatatsiinykh vlastyvoitei : navch. posib. / V. V. Bilichenko, O. L. Dobrovolskyi, V. O. Ohnevyi, Ye. V. Smyrnov. – Vinnytsia : VNTU, 2017. – 163 s.
6. Hashchuk P. M. Teoriia avtomobilia: Koleso / P. M. Hashchuk, T. H. Myskiv. – Lviv : Ukr. tekhnolohii, 2010. – 256 s.
7. Hrabchak V. I. Analiz isnuuichykh ta perspektyvnykh metodiv vyznachennia syly oporu povitria rukhu snariadiv / V. I. Hrabchak, S. V. Bondarenko // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk. – 2013. – № 2. – S. 13–19.
8. Lipnitskii Yu. M. Aerodinamika ballisticheskogo poleta / Yu. M. Lipnitskii, A. V. Krasilnikov, A. N. Pokrovskii, V. N. Shmanenkov ; [pod red. Lipnitskogo Yu. M.]. – M. : Fizmatlit, 2003. – 176 s.
9. Hrabchak V. I. Aproksymatsiia funktsii aerodynamichnykh koefitsientiv syly oporu povitria metodom naimenshykh kvadratov / V. I. Hrabchak // Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk. – 2012. – № 2. – S. 20–24.
10. Lysenko O. M. Osnovy hazovoi khromatografii : navch. posib. / O. M. Lysenko, T. V. Kovalchuk, V. M. Zaitsev. – Kyiv, 2013. – 166 s.
11. Krasnov N. F. Aerodinamika otrivnikh techenii / N. F. Krasnov, V. N. Koshevoi, V. T. Kalugin ; [pod red. Krasnova N. F.]. – M. : Vissh. shk., 1988. – 351 s.
12. Shevchuk L. I. Kavitatsiia. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty : monohrafiia / L. I. Shevchuk, V. L. Starchevskiy ; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. un-t. «Lviv. politeknika». – Lviv : Vyd-vo Lviv. politekhniky. 2014. – 376 s.
13. Analiz osoblyvoitei pobudovy i zastosuвання perspektyvnykh system upravlinnia vysokotochnoiu zbroieiu. Aktyvni holovky samonavedennia / A. B. Skoryk, M. I. Kamchatnyi, Ye. V. Morhun [ta in.] // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – 2018. – № 3 (55). – S. 36–43.
14. Shevchuk L. I. Nyzkochastotni vibrorazonansni kavitatory : monohrafiia / L. I. Shevchuk, I. S. Aftanaziv, O. I. Strohan, V. L. Starchevskiy. – Lviv : Vyd-vo Lviv. politekhniky, 2013. – 176 s.
15. Pat. 66134 UA, MPK (2011.01): A61L 2/02 (2006.01), B01J 19/00 Prystrii dlia zburennia pnevmohidravlichnoi kavitatsii / V. L. Starchevskiy, L. I. Shevchuk, I. S. Aftanaziv ; zaiavnyk Natsionalnyi universytet "Lvivska politeknika". – u201106784 ; zaiavl. 30.05.2011 ; opubl. 26.12.2011, Biul. № 24, 2011 r.
16. Pat. 125799 UA, MPK (2006): F02M 25/022 (2006.01), F02B 47/02 (2006.01), F02M 43/00, F02M 27/00, F23K 5/12 (2006.01) Sposib pidhotovky palyva dlia dvyhunyv vnurtishnoho zghoriannia / I. S. Aftanaziv, L. I. Shevchuk ; zaiavnyk Aftanaziv Ivan Semenovych. – a202000454 ; zaiavl. 27.01.2020 ; opubl. 08.06.2022, Biul. № 23, 2022 r.