

УДК 623.4:544.538

О.В. Галак¹, Д.В. Карлов², О.Ю. Чернявський¹, О.Г. Сінько¹¹ Національний технічний університет «ХПИ», Харків² Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЛАЗЕРНОЇ ЗБРОЇ ВЧОРА, СЬОГОДНІ, ЗАВТРА

Розвиток лазерних технологій іноземних держав за останні роки досяг великих масштабів. Сполучені Штати Америки є лідером по створенню та впровадженню лазерних систем. У подальшому бойові лазери планують скласти основу протиракетної оборони США, що надасть можливість уражати декілька ворожих ракет одночасно. Розроблення космічної лазерної зброї може стати важливим для систем протиракетної оборони. Гонка між світовими лідерами зі створення сучасних лазерних комплексів розгорнеться в період 2015–2020 рр.

Ключові слова: бойові лазери, детонація, протиракетна оборона.

Вступ

Постановка проблеми. Розвиток критичних технологій в останні роки досяг рівня, за якого стає можливим використання лазерної зброї. Дана зброя, за оцінкою зарубіжних фахівців, у наступні десятиліття може значно вплинути на розвиток озброєння і військової техніки та різко змінити тактику ведення бою механізованих і танкових підрозділів. Також пріоритетними напрямками є подальший розвиток лазерної зброї в повітрі та космосі.

На основі пульсуючих детонаційних систем можуть бути створені компактні бойові газодинамічні лазери із середньою потужністю 20 кВт і вищою, що розміщуються на легкоброньованих об'єктах. За такої потужності лазери забезпечують високоточне знищення живої сили противника і виведення з ладу легкоброньованих об'єктів. Дія лазерного випромінювання на людину може призводити до сильних опіків шкіри та ураженню сітківки ока, особливо в разі користування оптичними приладами, які мають значне збільшення. За рахунок формування випромінювання в інфрачервоній зоні (довжина хвилі 10,6 мкм), у діапазоні вікон прозорості повітря досягає ураження цілей на відстані 1500 м і більше.

Проблемою реалізації лазерних систем на даний час є створення компактною енергоефективної системи, малої за масо-габаритними показниками та коефіцієнтом корисної дії (ККД) вищим ніж в існуючих системах.

Метою даної роботи є аналіз літературних джерел щодо розвитку лазерної зброї іноземних держав та визначення напрямку розвитку цього типу зброї для Збройних Сил України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із літературних джерел [6, 7] встановлено, що у 1962 році ЦК КПРС затвердив програму робіт зі створення лазерної установки для виконання завдань протиракетної

оборони (ПРО). Разом із ДКБ "Вимпел", фізичним інститутом академії наук до роботи приєднався Державний оптичний інститут (ДОІ), програма дістала назву "Терра-3" [22] та проєкт ЛЕ-1. У 1967 році з високоенергетичними фотодісоціюючими лазерами здобуто енергію в імпульсі 20 кДж, а в 1968 році енергію в імпульсі 300 кДж. У 1968 році розпочалися дослідні роботи зі створення HF, CO₂, СО лазерів високої енергії (Фізичного інституту Академії Наук, "Луч", "Астрофізика" [4], Всеросійський науково-дослідний інститут експериментальної фізики, ДОІ тощо), роботи завершилися у 1976 році. У 1967 році проєкт ЛЕ-1 переданий у ЦКБ "Луч". За допомогою ЛЕ-1 (рис. 1) у 1978–1980 роках були зроблені траєкторні вимірювання супроводження ракет і боєголовок.



Рис. 1. Лазерний локатор ЛЕ-1

У 1982 році на озброєння Радянської Армії швидкими темпами був поданий проєкт лазерної установки, а в 1983 році запропонований на озброєння самохідний лазерний комплекс "Сангвин", який на відстані 10 км може здійснити невідновні руйнування та тривале осліплення оптико-електронної системи (рис. 2, б). Протягом 70–80-х років для потреб сухопутних військ були створені установки на основі CO₂ лазерів (рис. 2, в) та адаптивних систем наведення (рис. 2, з).

Через три роки після випуску самохідного лазерного комплексу "Сангвин" арсенал Радянської Армії

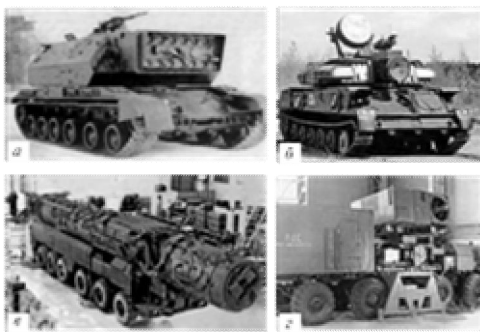


Рис. 2. Бойові лазери Радянського Союзу та Росії:
 а – 1К17 "Сжатие"; б – СЛК "Сангвин";
 в – мобільна установка з CO₂ лазером;
 г – адаптивна система наведення

повповнився корабельним комплексом "Аквилон" (рис. 3) на базі переобладнаного десантного корабля проекту 770 СДК-20. Це дослідне судно дістало назву проєкт 10030 "Форос", який призначався для ураження оптико-електронних систем берегової охорони противника, з принципом дії як у наземних лазерних комплексах.

У той же час із переобладнанням "Фороса" в 1978 році почав здійснюватись новий проєкт "Диксон". Перші випробування даної системи відбулися у 1980 році, у ході якого на відстані 4 км була уражена ціль першим залпом. ККД променя становив 5 %.

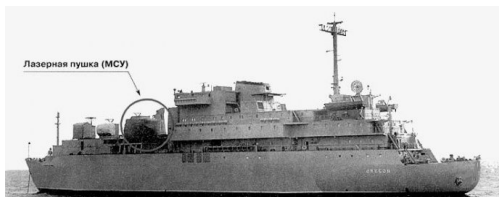


Рис. 3. Корабельний комплекс "Аквилон" СРСР

У ті часи в СРСР розроблялись лазерні комплекси [14] для використання на суші, морі, а також у повітрі (рис. 4).



Рис. 4. Експериментальна авіаційна лазерна установка СРСР

У 70–80-х роках у Радянському Союзі виконувався ряд програм із розроблення лазерної зброї, а саме: "Терра", "Омега", "Диксон" та інші. Розробки виконувались в наукових центрах Фізичного інституту Академії Наук, Астрофізика, Інститут хімічної фізики, Інститут фізики атмосфери, "Алмаз", Всеросійський науково-дослідний інститут експериментальної фізики, конструкторське бюро хімавтоматики, оптико-фізичних вимірювань, ОКБ Литкаринський завод оптичного скла" тощо. Ці експериментальні

системи досягли різних рівнів досліджень. Продовження робіт на установці "Терра-3" забезпечило б створення потужного квантового локатора, здатного за сотні кілометрів визначити відстань до цілі, її розміри, форму і траєкторію руху. У той час вже був встановлений локатор, роботу якого в 1984 році пропонувалося перевірити на реальних космічних об'єктах, що знаходяться на орбіті.

У грудні 1990 року був зібраний дослідний зразок лазерного комплексу 1К17 "Сжатие", який має на озброєнні випромінювання багатоканального рубінового твердотільного лазера (рис. 2 а). У 1991 році установка відправлена на випробування, а в 1992 році комплекс рекомендований до взяття на озброєння. Після розпаду СРСР фінансування оборонних програм стало обмеженим, тому комплекс у серійне виробництво так і не надійшов, а подальші розробки з даного напрямку відбувалися дуже повільно. За інформацією російських засобів масової інформації (ЗМІ) у 2006 році Державна програма озброєння в перспективі намагається здійснити роботи зі створення лазерної та кінетичної зброї.

У той же час у США виконувалися роботи по створенню бойового лазера [20] згідно з програмою "Восьма карта", але енергія найпотужнішого з них не перевищувала тоді енергії вибуху малокаліберного гарматного снаряда. Перші випробування розпочалися у 70-х роках, у 1978 році був створений дослідний варіант UNFT (Unified Navy Field Test Program, San Juan Capistrano, California) газодинамічного лазера на основі DF (фториду дейтерію) потужністю 30 кВт (рис. 5, а). На випробуваннях був уражений BGM-71 Tow, у 1980 був уражений у польоті гелікоптер вогневої підтримки UH-1 Cobra. В подальшому попит на розвиток лазерної зброї ставав більшим.



Рис. 5. Бойові лазери США:
 а – дослідний варіант UNFT ; б – позашляховик Humvee Avenger; в – Boeing HEL MD

Так у США компанія "Боїнг" розробила газодинамічний лазер HEL MD на базі вантажного автофургона (рис. 5, в) потужністю від 10 до 100 кВт, спроможний уразити літальні апарати, легко броньовані об'єкти. На шасі автомобіля Humvee Avenger компанією Boeing установлений кіловатний лазер у межах військової програми JHPSSL (Joint High Power Solid-State Laser) (рис. 5, б). Установка складається з ланцюга лазерних підсилювачів загальною кількістю сім і потужністю 15 кВт кожна, що в сумі становить 105,5 кВт. Дослідження показали, що установка може

працювати в безперервному режимі протягом п'яти хвилин. Компанією Northrop Grumman [16, 23] також розробляються лазерні установки різної потужності для потреб збройних сил Сполучених Штатів. В подальшому для потреб Сухопутних військ планується перехід на стрілецьку зброю, що базується на лазерному випромінюванні (рис. 6).

За повідомленнями американської преси у США виконуються роботи зі створення потужних газодинамічних і хімічних лазерів, призначених для ураження літаків. Для попередження особового складу про опромінювання використовують спеціальні датчики [1], що прийняті на озброєння в США та інших країнах НАТО. Можуть застосовуватись і спеціальні захисні окуляри. Не виключене застосування лазерних засобів для ураження чутливих елементів оптичної апаратури й очей людей з борту літака чи гелікоптера.



Рис. 6. Лазерна стрілецька зброя США

Розвиток лазерної зброї продовжується протягом усього часу до сьогодні. Найбільш великомасштабний проект здійснювався з 1996 до 2009 рік, який був спрямований на протиракетний літальний комплекс на основі хімічного киснево-йодного лазера (рис. 7), але в 2009 році США відмовились від закупівлі даного комплексу. Випробування продовжилось через деякий час, у 2010 році результатом дослідів була ракета типу "Гер'ер", дальність польоту до 200 км. У повітрі і на суші в США розробляються лазерні комплекси різної потужності.



Рис. 7. Експериментальний літальний комплекс США

В майбутньому планується використання тактичного лазера з дальністю дії 10–20 км на борту літака Lockheed AC-130 Gunship для вогневої підтримки Сухопутних військ. За даними ЗМІ [18] в США розроблені лазерні системи для виявлення мін, які розміщуються на борту гелікоптерів (рис. 8). Системи здатні виявляти плаваючі і якірні міни і можуть працювати у будь-який час доби як вдень, так і вночі.



Рис. 8. Лазерна установка ALMDS на борту гелікоптера MH-60S

ВМС США почали використовувати ALMDS на вертольотах MH-60 Black Hawk. Як очікується, в перспективі на вертольоти одночасно з ALMDS буде встановлюватися повітряна система швидкого розмінування (RAMICS), розробкою якої також займається Northrop Grumman. Згідно заявленим характеристикам, RAMICS буде отримувати дані про місцезнаходження від ALMDS і знищувати їх за допомогою 30-міліметрової гармати. Для потреб ВМС США [9, 10] у 2006 році компанією Raytheon була продемонстрована установка з новим волоконним лазером потужністю 20 кВт (рис. 9), яка знаходилась на платформі зенітного артилерійського комплексу Mk15 "Вулкан / Фаланкс" близької дії. Того ж літа у Військово-морському центрі NSWC у м. Крейн (шт. Індіана) проводились випробування лазера.

У липні 2010 року на полігоні о. Сан-Ніколас (шт. Каліфорнія) проводились чергові випробування для Військово-морських сил США, у ході яких установка DE&EWS (Directed Energy and Electric Weapon Systems) потужністю 5 кВт, яка базується на твердотільному лазері, уразила чотири безпілотні літальні мішені. У 2011 році проведені випробування корабельного високоенергетичного твердотільного лазера, який встановлювався на палубі есмінця "Пол Фостер" згідно з програмою Maritime Demonstration Laser. Випробування проводились у Тихому океані неподалік від острова Сан-Ніколас.

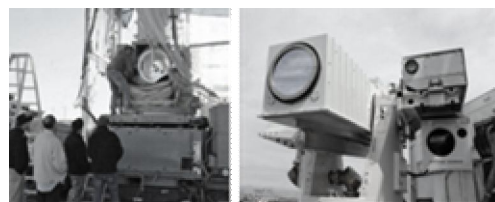


Рис. 9. Корабельні лазерні комплекси США

Також розробляються лазерні системи згідно з так званою стратегічною оборонною ініціативою (COI), яка передбачає розміщення та використання потужних лазерних засобів в космічному просторі. Передбачається використовувати хімічні, рентгенівські, а також лазери на вільних електронах. Роботи пов'язані зі створенням рентгенівських лазерів, енергія яких у 100–1000 разів перевершує енергію лазерів оптичного діапазону на довжині хвилі 0,0014 мкм. На відміну від хімічних лазерів, рентгенівський лазер уражає ціль шляхом ударної імпульсної

дії. За словами аналітиків створення США лазерних комплексів в космічному просторі надасть можливість захистити кордони держави від балістичних ракет Крім того, лазери космічного базування зможуть перехоплювати балістичні ракети на розгінних ділянках траєкторії, скидаючи таким чином пошкоджені ракети та їх бойові частини на територію противника [26]. На рис. 10 представлений лазер SBL, носієм якого є супутник, знищивший ракету ICBM на розгінній ділянці. Дальність дії оперативних систем SBL, як очікують, складе 4000–5000 км.



Рис. 10. Супутник з лазерним комплексом SBL

Випробування лазерної зброї в США продовжуються і до сьогодні [24, 25] в багатьох наукових центрах, зокрема ASMD (Anti-Ship Missile Defense), "Х'юз Ейркрафт", HELSTF (High Energy Laser System Test Facility), Northrop Grumman, програмах DE&EWS (Directed Energy and Electric Weapon Systems), LATEX (Laser Associate a une Tourelle Experimentale) тощо. У подальшому бойові лазери повинні скласти основу американської протиракетної оборони, яка надасть можливість уражати декілька ворожих ракет одночасно. Розроблення космічної лазерної зброї може стати основним для систем ПРО.

Південна Корея також створює лазерну зброю, що виводить із ладу ракетні та артилерійські системи. Потужна установка розроблялась для оборонних відомств, лазерні гармати планується розміщувати на спеціальних автомобільних засобах, щоб забезпечити мобільність пересування. Експлуатація установки планувалась у 2010 році для застосування збройними силами проти Північної Кореї. У наслідок цього Японія розгорнула дослідні роботи, щоб не допустити вторгнення на її територію балістичних ракет Північної Кореї. Планується спочатку розмістити лазерні установки наземного базування, а в подальшому розміщення на літаках з метою захисту від запуску балістичних ракет з боку Китаю. За словами військового відомства Японії, ракетний комплекс Patriot повинен уражати ракети в атмосфері, Aegis SM-3 на заатмосферному просторі, тому лазерна зброя зможе уражати після запуску в стартовій зоні польоту ракети. За словами ЗМІ, Токіо звернулося до керівництва США з проханням про допомогу в розробленні лазерної зброї. Японські ВМС закупили 4 лазерні системи ALMDS (рис. 11) у компанії Northrop Grumman США, для виявлення мін, які будуть розмі-

щуватися на борту гелікоптера MCH-101 (AW-101) виробництва "Агуста/Уестланд" / "Кавасакі" [17].



Рис. 11. Лазерний комплекс ALMDS на борту гелікоптера MCH-101

У Китайській Народній Республіці створена лазерна система [19], яка розміщується на башті броньованого об'єкта (рис. 12). Танк являє собою модернізацію російського танка Т-72 і належить до типу ZTZ-99 G. Лазерна система JD-3 (laser warning receiver / laser self-defence weapon) складається з системи попередження про лазерне опромінення та квантового генератора. Під час надходження сигналу про опромінення танка лазерним променем противника система попередження видає сигнал про поворот башти машини в бік отриманого опромінення, після чого вмикається лазерний промінь малої потужності, знаходиться місцезнаходження установки, унаслідок цього потужність збільшується до критичної та виводить з ладу оптичні засоби або органи зору оператора противника. За своїми бойовими характеристиками танк типу ZTZ-99 G наближається до основних бойових танків провідних держав світу з танкобудування. За заявами експертів, якщо порівнювати Т 90 або ZTZ-99 G, то китайський танк за всіма параметрами перевершує російський. Це пов'язано з тим, що Китай активно просуває свої машини на світовий ринок, а Росія на ньому основний конкурент.



Рис. 12. Бойові лазери Китаю. Тип 99 G

Військові ізраїльської армії також займаються вирішенням проблеми створення потужного бойового лазера, щоб захиститися від повітряного нападу ісламського світу, і витрачають на це великі кошти. Ізраїльська держава звернулася до США за допомогою у створенні даного лазера. Американсько-ізраїльські дослідники займалися створенням комплексу Tactical High Energy Laser (THEL) тактичного напрямку (рис. 13), який має за мету перехоплення артилерійських боєприпасів. Заплановано, що даний комплекс буде мати кругову зону обстрілу на відстані до 5 км.

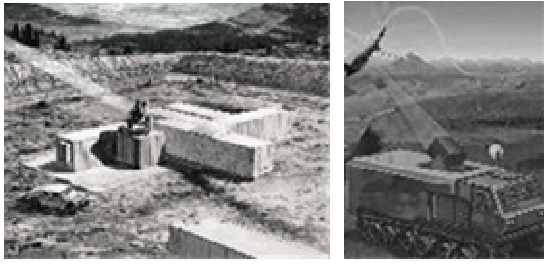
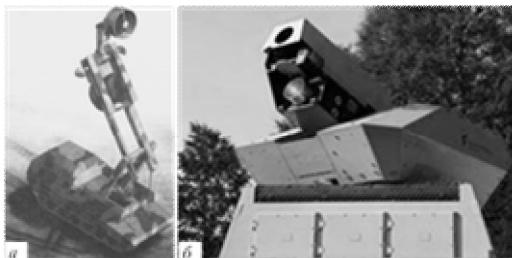


Рис. 13. Америко-ізраїльські бойові лазери THEL

Установка створена на базі показового варіанту наземного тактичного комплексу THEL. Запропонований комплекс має потужність 200–300 кВт на базі хімічного фтор-дейтерієвого лазера, довжина хвилі становить 3,8 мкм. Розроблення комплексу THEL велось на замовлення міністерства оборони Ізраїлю та США з 1990-х до початку 2000-х років. Фінансування завершилось у 2006 році.

Європейські держави, такі як Німеччина та Франція, ідуть шляхом створення бойових лазерних комплексів для захисту повітря та просторів своїх кордонів. У Франції виконуються роботи зі створення високоенергетичних лазерів фірмою "Талес", яка, у свою чергу, має великий досвід по створенню лазерних систем. Комплекс планується оснащувати твердотільним лазером. Потужність лазерної системи може досягти на броньованій платформі – 50 кВт, на кораблі – 100 кВт, а на шасі вантажної машини – 200 кВт. Заплановано до 2015 року надати демонстративні установки бойових лазерів із проведенням показових випробувань зі стрільбою.

У Німеччині створений бойовий лазер на шасі Leopard 2 (рис. 14 а), а також на швейцарському полігоні фірмою Rheinmetall були проведені випробування лазерної гармати для ураження безпілотних літальних апаратів (рис. 14 б), для оборони повітряного простору від атак терористів, балістичних ракет. За інформацією, 10 кВт установка, потужність якої збільшилась порівняно з 2010 роком, знищила безпілотний літак типу Tier I. Фірма Rheinmetall планує випустити 100 кВт лазерну установку, яка зможе надійти на озброєння німецької армії для захисту повітряного простору.

Рис. 14. Бойові лазери Німеччини:
а – на шасі Leopard 2; б – Тип ТМ-170 Rheinmetall

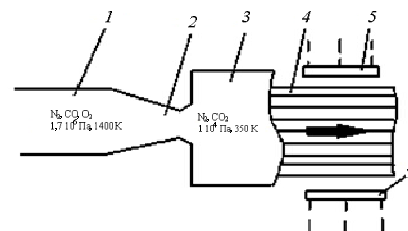
За оцінкою експертів, у період із 2015 до 2020 року розпочнеться велика гонка зі створення бойової лазерної зброї між світовими лідерами.

Викладення основного матеріалу

Основні положення матеріалу статті. Особливістю бойових лазерів [21] є генерація імпульсів оптичного випромінювання великої потужності. Основні відмінності лазерів полягають в довжині хвилі, рівні вихідної потужності та джерелі накачування. Найбільш перспективними є газодинамічні CO_2 -лазери, які мають менші масо-габаритні показники та високу вихідну потужність. Грунтуючись на цих підходах, іноземні держави створюють бойові лазерні комплекси на різних принципах роботи для потреб сухопутних і повітряних військ, військово-морських сил та для використання в космічному просторі [24].

Газодинамічним називається газовий лазер інверсія населеності, у якому створюється шляхом швидкого розширення попередньо нагрітої газової суміші. Принцип дії газодинамічного лазера базується на адиабатичному розширенні нагрітої газової суміші, яке супроводжується зниженням температури. За такого зниження температури та тиску надлишок енергії обумовлює підвищення інверсної населеності атомів окремих газових компонентів струменя. У результаті під час зіткнення ця енергія передається молекулам інших компонентів, що збуджуються та можуть спонтанно випромінювати фотони, які використовують для отримання індукованого випромінювання [2]. Принцип дії газодинамічного лазера, який працює на суміші вуглекислого газу й азоту, наведена на рис. 15.

Суміш нагрітих газів ($T = 1400^\circ\text{K}$) знаходиться у змішувальній камері 1, де відбувається згоряння ($2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$), і протікає через сопло 2 з надзвуковою швидкістю в лазерну камеру 3, де вона розширюється та охолоджується. Збуджені атоми передають енергію молекулам вуглекислого газу, які в оптичному резонаторі створюють когерентне випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм. ККД розглянутих лазерів становить поки тільки 10–15 %.

Рис. 15. Принцип дії газодинамічного лазера:
1 – змішувальна камера; 2 – сопло; 3 – лазерна камера; 4 – зона генерації; 5 – дзеркала оптичного генератора

Створені та випробувані газодинамічні лазери з потужністю не меншою ніж 0,2 МВт. До останнього часу в газодинамічних лазерах високотемпературна суміш виходила під час проходження ударних хвиль

у газових середовищах імпульсні лазери, а у лазерах безперервної дії за рахунок розігріву електричною дугою або під час спалювання вихідних газів.

Недоліком газодинамічного лазера є потреба використання нагнітача для безперервного прокачування суміші, а також висока теплова напруженість матеріалів із-за безперервного згоряння палива.

Хімічним називається лазер, у якому інверсія населеності виникає безпосередньо у процесі перебігу елементарної хімічної реакції [5].

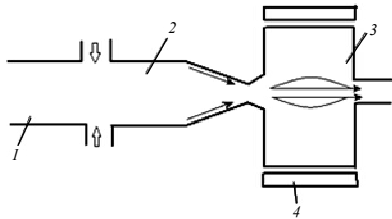
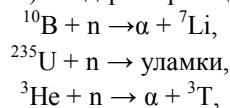


Рис. 16. Схема хімічного лазера: 1 – змішувальна камера; 2 – сопло; 3 – лазерна камера; 4 – дзеркала

Розробляється киснево-йодний лазер із потужністю 20 кВт [11]. Принцип дії хімічного лазера засновано на використанні енергії, яка вивільняється під час хімічної реакції. Схема такого лазера приведена на рис. 16. Хімічна реакція відбувається у змішувальній камері 1. Газ, утворений у результаті реакції, надходить через сопло 2 в лазерну камеру і далі до оптичного резонатора, де збуджені молекули і створюють когерентне випромінювання. Практичний інтерес становлять лазери на фтористому водні (реакція фтору і водню, $\lambda = 2,6 \div 3,5$ мкм) і фтористому дейтерії (реакція фтору і дейтерію, $\lambda = 3,6 \div 5$ мкм). Випромінювання останнього лазера менш поглинається атмосферою. ККД хімічних лазерів перевищує 15 %.

Лазер з ядерною накачкою – це лазер, в якому збудження та створення інверсії спеціального лазерно активного середовища здійснюється продуктами ядерних реакцій (рис. 17). Встановлено [15], що нейтрони з запального реактора проходять через лазерно активний елемент, нанесений на зовнішню поверхню лазерно активного елемента, і спричиняють поділ урану-235. Уламки поділу, потрапляючи в лазерно активне середовище, створюють нерівноважну ядерно порушену плазму та інверсію лазерних рівнів.

Нейтрони стимулюють реакції в ядерно-активній речовині, до якої додається у вигляді нанесеного на внутрішню поверхню трубки тонкого шару (зазвичай ^{10}B , ^{235}U , ^{236}U , O_8) або введено у трубку у вигляді газу (^3He). В ядерних реакціях, наприклад,



утворюються швидкі іони (з енергією 0,5–100 МеВ),

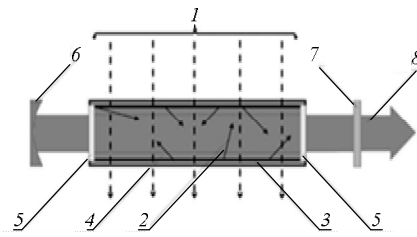


Рис. 17. Схема роботи лазера з ядерною накачкою:

- 1 – потік нейтронів; 2 – уламки ділення;
- 3 – шар U^{235} ; 4 – лазерно активне середовище;
- 5 – оптичні вікна; 6 – "глухе" дзеркало;
- 7 – вихідне дзеркало; 8 – лазерний пучок

які іонізують і збуджують атоми, що знаходяться у трубці робочого газу і формують лазерно активне середовище.

Лазери з ядерною накачкою становлять інтерес у зв'язку з проблемою створення системи реактор-лазер, у якій лазерно-активна зона сполучена з ядерно активною зоною, де зосереджена критична маса ядерного реактора. У цьому разі відбувалося б пряме перетворення частини ядерної енергії у світлоу. Система поки не створена через труднощі поєднання умов роботи лазера й реактора. Запропоновано газофазний лазер з ядерною накачкою на UF_6 і аерозольному паливі. Можливе здійснення ядерного накачування в реакторі з підкритичним режимом із використанням зони джерела нейтронів. Ідея застосування для виникнення лазерного випромінювання запропонована у роботі [3]. Детонаційні лазери показали високу ефективність, але конструкція була одноразовою дії. У роботах як вихідна речовина використовувалася суміш азотисто-водневої кислоти HN_3 з двоокисом азоту і ксеноном. Газоподібна суміш напускалася у ємність 5 (рис. 18) і потім заморожувалася на металевому стрижні 3 під час заповнення порожнини 4 рідким азотом. Детонація ініціювалася електричною іскрою.

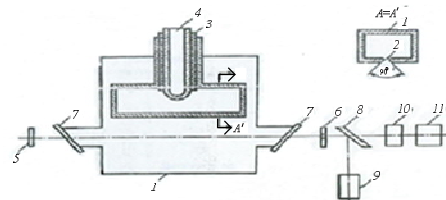


Рис. 18. Схема експериментальної установки:

- 1 – камера високого тиску об'ємом 0,3 л;
- 2 – щілина з розмірами $200 \times 0,4$ мм²;
- 3 – металевий стрижень із порожниною;
- 4 – теплоізолюючий від сталеві частини установки;
- 5 – баластний об'єм ємністю 12 л;
- 6 – дзеркала з золотим покриттям діаметром 25 мм;
- 7 – брестерівські вікна з NaCl ;
- 8 – плоскопаралельна германієва пластинка;
- 9 – калориметр; 10, 11 – фотоприймачі осцилографа

Розліт продуктів детонації в камері високого тиску *1* відбувається за час близько десятків мікросекунд, витікання газу через щілину за час приблизно мілісекунди (відношення обсягу камери до добутку площі щілини на швидкість звуку у критичному перерізі). Тиск і температура в камері високого тиску після розльоту продуктів детонації становили за оцінками близько 10–20 атмосфер і 2000–3000 залежно від кількості та складу суміші. Як показав термодинамічний розрахунок та інфрачервоний аналіз продуктів вибуху, практично весь водень (близько 90 %) окислявся до води, відновлюючи частину вуглекислоти до окису вуглецю. У цьому разі вміст води в суміші досягав 15–20 %.

Максимальна енергія здобута за відносному вмісту компонента, відповідає початковим температурам продуктів детонації – близько 2500°K. Ця температура значно перевищує температури, які є оптимальними згідно з [8] для сумішей N_2+CO_2+He . Попередні експерименти показали, що додавання досліджених сумішей хлору в кількості близькій до стехіометричної, за воднем призводить до різкого (приблизно втричі) збільшення енергії, що генерується. У цьому разі вміст води у продуктах знижується до 2–4%.

Установлено [13], що в лазері на CO_2 використовується не електронний, а коливальний перехід між двома коливальними (коливально-обертальними) рівнями основного електронного стану молекули CO_2 . Довжина хвилі випромінювання $\lambda = 10,6$ мкм ($h\nu = 0,117$ eВ) належить далекій інфрачервоній зоні. Лінійна молекула CO_2 може здійснювати коливання трьох типів – їх називають модами (рис. 19). Частота ν_1 відповідає симетричним коливанням, ν_2 – деформаційним, ν_3 – асиметричним. Лазерний квант випромінюється під час переходу зі стану 001 до 100; цифри позначають коливальні квантові числа в модах ν_1, ν_2, ν_3 відповідно. Можливий ще перехід 001 \rightarrow 020, $\lambda = 9,4$ мкм, але він значно слабший.

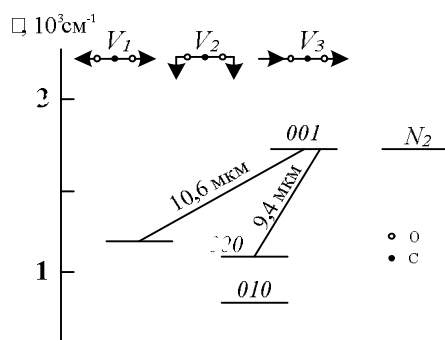


Рис. 19. Схема нижчих коливальних рівнів молекул CO_2 та N_2

Детонаційні лазери належать до критичних технологій і працюють таким чином (рис. 20). Детонацій-

на труба *1*, що має відкритий отвір з одного боку, через систему клапанів *2* заповнюється вуглеводно-кисневою або вуглеводно-повітряною сумішшю *3*, здатною до детонації. Біля закритого торця труби за допомогою джерела розряду *4* здійснюється ініціювання детонації *5* у суміші *3*. Поширення детонації *6* по суміші *3* призводить до "миттєвого" її згоряння. Результатом детонаційного згоряння є підвищення тиску та температури у продуктах хімічної реакції, серед яких наявні молекули діоксиду вуглецю CO_2 . Перепад тиску, що утворюється між продуктами детонації та зовнішнім середовищем призводить до надзвукового розширення продуктів детонації зі швидким охолодженням у зоні оптичного резонатора *7*. Це створює умови для виникнення інверсії населеності в коливально збуджених молекулах CO_2 та забезпечує виникнення лазерного випромінювання.

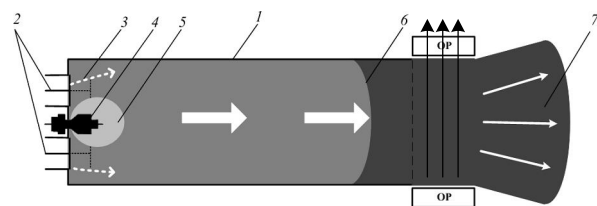


Рис. 20. Схема роботи детонаційного лазера:
ОР – оптичний резонатор

На відміну від газодинамічних і хімічних лазерів температура в детонаційних лазерах може перевищувати 3000°K, що відрізняється від газодинамічних CO_2 лазерів, де робоча температура не перевищує 1400°K, а в хімічних – 1500–1800°K.

Здійснено математичне моделювання процесу ініціювання детонації з метою визначення шляхів зменшення витрат енергії розряду на ініціювання детонації [8]. За рахунок підвищення температури збільшиться потужність лазерної установки та виросте енергоефективність. Щодо детонаційного лазера – виключається потреба використання потужних турбокомпресорів, які наповнюють камеру згоряння, надзвукове вилучення продуктів детонації дозволяє вилучити сопловий блок.

Висновки

1. З аналізу літературних джерел з'ясовано, що перспективою розвитку лазерної зброї є подальше вивчення та розвиток бойових лазерів, що базуються на детонаційному згорянні палива. Детонаційні лазери надають можливість зменшити вагу установки, витратити менше енергії, знизити витрати на виготовлення. Вищий ККД, ніж в існуючих системах, досягається більш високою температурою згоряння та швидкою зміною вихідної потужності.

2. Даний детонаційний лазер у подальшому може розміщуватися на шасі броньованого об'єкта та використовуватись для потреб Збройних Сил України.

Список літератури

1. Алешин А Средства обнаружения лазерного излучения / А. Алешин, Б. Азаров // Зарубежное военное обозрение. – 1995. – № 2. – С. 53–57.
2. Бирюков А.С. Газодинамический лазер / А.С. Бирюков. – М.: Сов. Энцикл.: Физ. Энцикл., 1988. – Т. 1.
3. Джиджоев М.С. Детонационный газодинамический лазер / М.С. Джиджоев, В.В. Королев, В.Н. Марков [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 1971. – Т. 13. – С. 73–76.
4. Екимбиев С.Х. Основные направления научно-технической деятельности Государственного научного центра Российской Федерации ФГУП «НПО Астрофизика» / С.Х. Екимбиев // Основные направления научно-технической деятельности Госуд. Научн. центра. – 2009. – С. 3–7.
5. Елецкий А.В. Химический лазер / А.В. Елецкий. – М.: Сов. энциклопедия: Физ. энциклопедия, 1988. – Т. 5.
6. Зарубин П.В. "Терра" и "Омега" – крупномасштабные пионерские советские программы высокоэнергетических лазеров / П.В. Зарубин, Н.В. Чебуркин, Е.М. Сухарев // Труды конференции. – Минск: 2007. – LAT 2007. – V. 6337.
7. Зарубин П.В. Академик Басов, мощные лазеры и проблема противоракетной обороны / П.В. Зарубин // "Квантовая электроника". – 2002. – 32 (12). – С. 1048–1064.
8. Корытченко К.В. Моделирование иницирования детонации в водородно-кислородной смеси по экспериментальной динамике ввода энергии в искровой канал / К.В. Корытченко, В.Ф. Болюх, А.В. Галак // Техническая электродинамика. – 2011. – Тем. выпуск – С. 281 – 286.
9. Лазерное оружие ВМС иностранных государств [электронный ресурс] / А. Алешин // журнал «Зарубежное военное обозрение». – 1996. – № 6. – Режим доступа: <http://www.otvaga2@narod.ru>.
10. Лазерные технологии в зарубежных военно-морских силах [Электронный ресурс] / В.А. Катенин // Экспертный союз. – 2012. – № 6. – Режим доступа: <http://www.экспертный.союз.рф/index.php/zhurnal-ekspertnyj-soyuzq-osnova/>.
11. Ораевский А.Н. Химические лазеры / А.Н. Ораевский // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 4. – С. 96–104.
12. Патраков Ю.М. Оптиколокационная заметность кораблей и проблемы их защиты от обнаружения лазерными локационными системами / Ю.М. Патраков, И.М., Закомолдин, А.К. Завьялов // Морская радиоэлектроника. – 2005. – № 4. – С. 46–50.
13. Райзер Ю.П. Физика газового разряда Учебное руководство / Райзер Ю.П. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
14. Смыслов И. Боевые лазеры уже испытываются / И. Смыслов // Газета Сегодня, НВО. – 2004.
15. Яковленко С.И. Лазер с ядерной накачкой / С.И. Яковленко. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – Т. 2.
16. Боевой 100-кВт лазер Northrop Grumman [электронный ресурс] / В. Саков // Новости Hardware – 2009. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru>.
17. ВМС самообороны Японии закупили четыре лазерных системы обнаружения мин ALMDS [Электронный ресурс] / Центральный військово-морський портал // ЦАМТО – 2012. – Режим доступа: <http://www.northropgrumman.com>.
18. ВМС США получили лазерную систему обнаружения мин [электронный ресурс] / Lenta.ru // Военный информатор. – 2010. – Режим доступа: <http://www.military-informant.com>.
19. Китайский основной боевой танк – Тип 99 [Электронный ресурс] / Армейский весник // Иностранцы армии – 2011. – Режим доступа: <http://www.pro-tank.ru>.
20. Hecht Jeff "The history of the x-ray laser" / Jeff Hecht // Optics and Photonics News (Optical Society of America). – 2008. – V. 19 (5). – P. 26–33.
21. Kalisky Yehoshua Applications of high power lasers in the battlefield / Yehoshua Kalisky // Technologies for Optical Countermeasures. – 2009. – Vol. 7483.
22. Keller Bill American Team Gets Close Look At Soviet Laser. / Bill Keller // Special to The New York Times Published. – 1989.
23. Pae Peter Northrop Advance Brings Era Of The Laser Gun Closer / P. Pae // Los Angeles Times. – 2009. – С. B–2.
24. Stupl Jan High Energy Lasers: A Sensible Choice for Future Weapon Systems? / Jan Stupl, Gotz Neuneck // Security Challenges. – 2005. – V. 1, N. 1. – P. 135–153.
25. Stupl Jan Assessment of Long Range Laser Weapon Engagements: The Case of the Airborne Laser / J. Stupl, G. Neuneck // Science and Global Security. – 2010. – V. 18. – P. 1–60.
26. Wollmann Gerd Directed Energy Weapons: Fact or Fiction? / Gerd Wollmann // A Survey of Technologies and Activities Military Technology. 2003. – No 4. – P. 80–85.

Надійшла до редколегії 19.11.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЛАЗЕРНОГО ОРУЖИЯ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

А.В. Галак, Д.В. Карлов, О.Ю. Чернявский, А.Г. Синько

Развитие лазерных технологий иностранных государств за последние годы достиг больших масштабов. Соединенные Штаты Америки являются лидером по созданию и внедрению лазерных систем. В дальнейшем боевые лазеры планируют составить основу противоракетной обороны США, что позволит поражать несколько вражеских ракет одновременно. Разработка космического лазерного оружия может стать важным для систем противоракетной обороны. Гонка между мировыми лидерами по созданию современных лазерных комплексов развернется в период 2015–2020 гг.

Ключевые слова: боевые лазеры, детонация, противоракетная оборона.

THE WAYS OF DEVELOPMENT OF LASER WEAPON YESTERDAY, TODAY, TOMORROW

A.V. Galak, D.V. Karlov, O.U. Chernyvskiy, A.G. Sinko

The development of laser technologies of the foreign states has reached big scales recent years. The USA is the leader on creating and applying of laser systems. Later battle lasers are to provide a basis for air defense of the USA, it will give the possibility to he protect from enemy missiles at the same time. He development of the space laser weapon can become the main task for missile defense system. He race between world leading countries on creating of modern laser complexes will burnt up in 2015–2020.

Keywords: battle lasers, detonation, missile defense system.