

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 623.454.87:544.032.65

О.В. Галак

Факультет військової підготовки Національного технічного університету «ХПИ», Харків

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЕТОНАЦІЙНИХ CO<sub>2</sub>-ЛАЗЕРІВ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦІЇ

*Зростаючі у світі вимоги до екологічної безпеки дають можливість створення компактною, енергоефективною лазерною установкою, на відміну від існуючих систем, яка буде розміщуватись на військовій техніці та надасть можливість суттєво впливати та швидко проводити дезактивацію забруднених поверхонь радіоактивними ізотопами за рахунок випарювання оксидних плівок під дією випромінювання.*

**Ключові слова:** бойові лазери, детонація, дезактивація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Радіаційний вплив джерел іонізуючого випромінювання, які широко застосовуються у світі є одним із небезпечних техногенних факторів, якій може мати негативний вплив на людину та навколишнє середовище. Використання джерел іонізуючого випромінювання з порушенням норм, правил і стандартів із радіаційної безпеки створює ризик зовнішнього опромінювання, а також може призвести до забруднення навколишнього природного середовища і надходження радіоактивних речовин до організму людини, про що свідчить аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році та АЕС Фукусіма, (Японія) у 2011 році.

У результаті аварії на Чорнобильській АЕС стався викид у навколишнє середовище радіоактивних речовин, у тому числі ізотопів урану, плутонію, йоду – 131, цезію – 134, цезію – 137, стронцію – 90. Загальний обсяг радіоактивних відходів у зоні відчуження близько 2,8 млн. м<sup>3</sup>, із них понад 2,0 млн. м<sup>3</sup> радіоактивних відходів. Аварія, яка сталась 11 березня 2011 року на АЕС Фукусіма, (Японія) завдала великого забруднення навколишньому середовищу. У результаті аварії стався викид радіоактивних речовин йоду – 131, цезію – 137 в об'ємах  $1,3 \times 10^{17}$  Бк та  $6,1 \times 10^{15}$  Бк. За оцінками експертів наслідки забруднення катастрофічні, наприкінці 2012 року рівень радіації на узбережжі, де знаходиться АЕС "Фукусіма-1", перевищував норму більш ніж у сто разів.

Проектами було передбачено оснащення українських АЕС установками для сортування і пресування твердих радіоактивних відходів, спалювання твердих радіоактивних відходів і рідких радіоактивних відходів, глибокого випарювання, установками регенерації радіоактивних масел тощо. Але з ряду причин ці проектні рішення не реалізовані в повно-

му обсязі. Відсутність переробних комплексів призводить до передчасного заповнення ємностей для збереження рідких і твердих радіоактивних відходів.

У військовій сфері сучасні погляди на ведення бойових дій у воєнних конфліктах різного ступеня інтенсивності не передбачають використання ядерної зброї. Разом із цим можливе широке застосування високоточної зброї. Перш за все високоточна зброя буде уражати адміністративні центри, пункти керування, систему ППО, підприємства ядерної енергетики. У результаті зруйнувань останніх, утворюються зони зараження, що за своїми масштабами аналогічні зонам зараження в разі застосування зброї масового ураження.

Для вирішення цих завдань військами РХБ захисту застосовуються підрозділи й частини РХБ захисту, які в мирний і військовий час виконують завдання. В разі виникнення загрози радіаційного зараження, проведення у тому числі й дезактивацію [6] озброєння, техніки та місцевості. Але в сучасних умовах, наявні засоби не дозволяють повною мірою проводити дезактивацію. Повна дезактивація фізико-хімічним способом проводиться шляхом змивання радіоактивних речовин водними розчинами миючих засобів, водою і порошками СФ-2У, за допомогою брандспойтів машини АРС-14 (АРС-15), але даний спосіб та наявні засоби не дозволяють повністю очистити від радіоактивного зараження, а лише частково змити верхній шар.

Гонка озброєнь між державами, недосконалість технології залишили нам у спадок забруднену територію, що змушує нас задуматись над тим, яким чином очистити територію від радіоактивних забруднень.

У наш час у світі розробляються нові лазерні комплекси якими проводять дезактивацію, які не застосовуються в Україні.

**Метою даної роботи** є аналіз літературних джерел щодо розвитку лазерних систем [7, 8] для проведення дезактивації та визначення напрямку розвитку цього типу лазера для Збройних Сил України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У США, ЮАР та Росії розроблені та впроваджені методи лазерного поділу ізотопів. Широко застосовуються лазерні лідари для контролю за забрудненням середовища радіоактивними ізотопами. Деякі компанії США та Росії використовують лазерні системи [4] у процесі утилізації обладнання АЕС.

Лазерний метод дезактивації базується на випаровуванні оксидних плівок під впливом випромінювання. За випарювального механізму лазерне випромінювання повинно за час імпульсу нагріти верхній шар плівки до температури кипіння та випарити його. Із-за малого коефіцієнта температуропровідності оксидів товщиною температурного фронту перед хвилею випаровування мала. У наслідок цього можливе видалення плівок із незначним оплавленням поверхні.

У Росії з початку 90-х років у ДНЦ РФ "ТРИНІТІ" почалось розроблення мобільних технологічних комплексів [5] на базі потужних газорозрядних CO<sub>2</sub>-лазерів. У кінці 90-х років були створені комплекси МЛТК-5 і МЛТК-50 (табл. 1). Комплекс МЛТК-5 створений на основі безперервного CO<sub>2</sub>-лазера замкнутого контуру [3] з накачуванням самостійним розрядом з вихідною потужністю 5 кВт, який базується на шасі автомобіля (рис. 1).

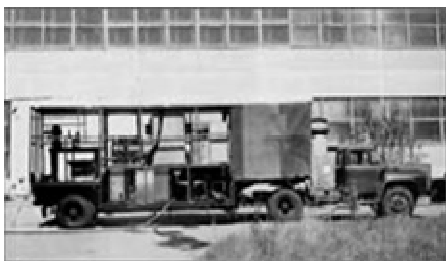


Рис. 1. Мобільний лазерний технологічний комплекс МЛТК-5

Комплекс МЛТК-50 був створений на основі імпульсно-періодичного електроіонізаційного CO<sub>2</sub>-лазера відкритого контуру з потужністю 50 кВт. Обладнання розміщувалося на двох автомобільних напівпричепах, вага дорівнювала 48 тонн (рис. 2).



Рис. 2. Мобільний лазерний технологічний комплекс МЛТК-50

Розглядалось [1, 10] створення потужних CO<sub>2</sub>-лазерів, що працюють на суміші атмосферного повітря з вуглекислим газом і відрізняються тим, що до складу лазера введено пристрій іонізації. Також [11] розглядався спосіб дезактивації поверхні, розташованої в зоні радіоактивного забруднення ядерної установки, що містить у собі обробку поверхні імпульсним лазерним променем і відрізняється тим, що імпульсний лазерний промінь формується за межами зони радіоактивного забруднення.

З початку XXI століття відбулася революція в лазерній техніці в ТОВ НТО "ІРЕ Полюс" (м. Фрязіно) були створені потужні волоконні лазерні системи МЛТК-2 (рис. 3), що складаються з блоків модулів (блока безперервного волоконного ітербієвого лазера, блока допоміжних періодичних Nd лазерів та блока автономного електроживлення). Розмір блоків 2×2 м, загальною довжиною 3 м, потужністю 2 кВт та загальною вагою 970 кг. Час на підготовку до експлуатації не більший за 10 хвилин.

Лазерний комплекс МЛТК-3 практично ідентичний комплексу МЛТК-2, що містить у собі три 1 кВт – лазерні джерела та системи охолодження. Вага кожного із 7 блоків не перевищує 100 кг.



Рис. 3. Мобільний лазерний технологічний комплекс МЛТК-2

У 2003 році НПП "Лазерні технології" (Росія) був розроблений мобільний лазерний комплекс для дезактивації. Обробка в даному випадку відбувається крізь плівку лазерним променем, а окисли які відлітають з поверхні деталі, сорбуються на клеєвій речовині нанесеній на одну з боків плівки (рис. 4).



Рис. 4. Мобільний лазерний комплекс для дезактивації

За рахунок застосування плівок надається можливість розподілити під час оброблення виробів на "брудну" та "чисту" зони.



Рис. 5. Мобільний лазерний технологічний комплекс МЛТК-20

Новою розробкою є комплекс МЛТК-20 (рис. 5), який створений у 2010 році в ДНЦ РФ "ТРИНІТ" та ТОВ "Газпром газобезпека" разом ТОВ НТО "ІРЭ Полус" ТОВ НПО "Этан промгаз", ТОВ НПЦ "Система", Оптико-фізичної лабораторії ДОІ ім. С.І. Вавілова та іншими російськими організаціями. Обладнання комплексу розміщується в чотирьох блок-контейнерах, вага кожного блока не перевищує 2 тонни. У кожному з них змонтований лазерний блок ЛС-20 з довжиною хвилі 1,07 мкм та потужністю 8 кВт, також системою охолодження РС-170.

Таблиця 1

Параметри роботи лазерних комплексів

Установка Параметри	МЛК	МТЛК-5	МТЛК-50	МТЛК-20
Загальна вага комплексу, т	0,040	11	50	2 кожен блок
Відстань до об'єкта, м	до 1,5	до 70	50	70
Споживча потужність, кВт	3	150	750	32 кожен блок
Довжина Хвилі, мкм	1,06	10,6	10,6	1,07
Частота ініціювання детонації, Гц	50	50	50	50
Вихідна потужність, кВт	–	0,5 – 5,0	50	8

У США фірмою AVLIS (atomic vapor laser isotope separation) із 1970 до 1980 року розроблялись лазерні системи, які випарюють ізопопи. Ця ідея відмерла внаслідок загальної кількості потужностей і скорочення арсеналу озброєння.

За допомогою лазера [12, 16, 19] можливо іонізувати атоми якого-небудь ізопопу. Здобуті іони можливо відділити магнітним полем, така технологія дає суттєву ефективність, але у промисловості поки що не застосовується. Дана технологія розроблялася в США, але на даний момент не розвинута крім дос-

лідних одиниць. Суттєвий недолік у перенастроюванні з одного ізопопу на інший.

Американським департаментом з енергії (DOE, US Department of Energy) було запропоновано для дезактивації ядерних установок використовувати високопотужні лазери [18]. Лабораторією Еймса в межах проекту Ames Laser Decontamination Project (Еймський проект із лазерної дезактивації) у період із 1992 до 1996 року були досягнуті результати. Використовувався ексімерний KrF-лазер потужністю 100 Вт (248 нм) і Nd-лазер YAG Q-switch (1064 нм) для вивчення переміщення радіоактивного оксиду по металевих поверхнях (алюміній, сталь, мідь, дрiт). Чим вищий потенціал іонізації навколишнього газу, тим вища ефективність даного способу на задовільному рівні. Для розробки був запропонований прототип лазера Nd: YAG, який працює в короткому діапазоні, довжина його хвилі становила (1064 нм), за допомогою звичайних оптичних волокон. Інші проекти призначались для дезактивації бетону. У цьому разі дезактивації можна досягти шляхом видалення товстого шару бетону (у кілька міліметрів). Для проведення експерименту використовувались потужні інфрачервоні лазери типу CO<sub>2</sub> або Nd: YAG. У зв'язку з цим лабораторією The Argon National Laboratory був розроблений прототип очищувального лазера, який був випробуваний для відбраковування ядерного реактора. Нещодавно для розбирання ядерних установок був запропонований хімічний лазер [13, 16] за назвою COIL (Chemical Oxygen Iodine Laser) [14, 15], спочатку задуманий як військова лазерна зброя з потужністю більшою за 1 кВт.

У Франції починаючи з 1999 року проведено досліді з лазером Nd: YAG та ексімерним лазером.

Комісаріатом з атомної енергії був розроблений і випробуваний прототип LEXDIN на випадок дезактивації камери з оргскла. Дезактивація за допомогою ультрафіолетового лазера: прототип LEXDIN, СЕА, 1996. У цьому прототипі використовується ХеСІ-лазер і дзеркала для передачі лазерного пучка. Було проведено порівняльне дослідження на лазері Nd: YAG та ексімерному KrF-лазері. Ефективність очищення можливо дозволила б підвищити обмеження плазми рідкою плівкою. Порівняно з очищенням сухим способом коефіцієнт дезактивації з водяною плівкою виявився в 30 разів вищим, з плівкою з 0,5 М азотної кислоти у – 85 разів вищим і з плівкою з 5 М азотної кислоти в – 650 разів вищим. Інші проекти дезактивації за допомогою лазерного пучка здійснювались з приведенням у дію ексімерного ХеСІ-лазера, лазера Nd: YAG і ксенонового лазера з імпульсною лампою.

Вищезазначені комплекси мають ряд суттєвих недоліків, а саме: високі енергоефективні вимоги до установки та масо-габаритні показники, низька вихідна потужність і високі витрати на виготовлення.

## Викладення основного матеріалу

**Основні положення матеріалу статті.** На основі пульсуючих детонаційних систем, запропонований варіант реалізації детонаційного лазера, у якому за рахунок детонаційного згоряння палива та використання для накачування енергії хімічних реакцій, а також через відсутність додаткової системи прокачування робочого середовища, зменшуються масо-габаритні показники системи, збільшується коефіцієнт корисної дії за рахунок виключення витрат енергії на прокачування робочого середовища, що випромінює, та підвищення робочої температури в середовищі. Будова детонаційного лазера, показана на рис. 6.

Детонаційний лазер працює таким чином [2, 7, 8]. Детонаційна 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.

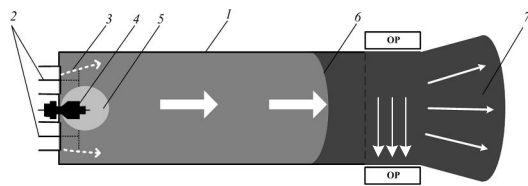


Рис. 6. Схема роботи детонаційного лазера:  
ОР – оптичний резонатор

Результатом детонаційного згоряння є зростання тиску та температури в продуктах хімічної реакції, серед яких наявні молекули диоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$ . Перепад тиску, що утворюється між продуктами детонації та зовнішнім середовищем, призводить до надзвукового розширення продуктів детонації із швидким охолодженням в зоні оптичного резонатора 7. Це створює умови для виникнення інверсії населеності в коливально збуджених молекулах  $\text{CO}_2$  та забезпечує виникнення лазерного випромінювання.

За великої частоти ініціювання детонації стає актуальним обмеження витрат енергії розряду на ініціювання детонації. Так за витрати енергії на один імпульс ініціювання близько 500 Дж сумарна потужність системи ініціювання детонації за частоти 100 Гц становить 50 кВт, що робить детонаційні лазери енерговитратними з виникненням технічних проблем щодо енергозабезпечення. Визначено, що енергія імпульсу ініціювання не повинна перевищувати 50 Дж, що можна досягнути, якщо ККД потужних іскрових розрядів не перевищує 1%. Здійснено математичне моделювання процесу ініціювання де-

тонації з метою визначення шляхів зменшення витрат енергії розряду на ініціювання детонації [9].

Застосування детонаційного лазера з параметрами (табл. 2) дозволяє проводити дезактивацію радіоактивно забруднених об'єктів.

Таблиця 2

Параметри роботи детонаційного лазера

Параметри	Значення
Енергія на поодинокі ініціювання детонації, Дж	50
Частота ініціювання детонації, Гц	50
Споживана потужність, кВт	4
Вихідна потужність, кВт	50
Робоча суміш	пропан-кисень
Довжина хвилі випромінювання, мкм	10,6
Відстань до об'єкту, м	до 2000

Часткове охолодження системи відбувається за рахунок періодичного режиму роботи з заповнюванням труби холодною сумішшю, виключається потреба у використанні великих систем охолодження. Температура в продуктах детонації може перевищувати 3000 К, що відрізняється від газодинамічних  $\text{CO}_2$ -лазерів, де робоча температура не перевищує 1400 К, або хімічних лазерів, де температура сягає 1500 – 1800 К. У разі підвищення температури зростає потужність.

Запропонована система детонаційного лазера може застосовуватись на бронеоб'єктах в масштабах Збройних Сил України, а саме для потреб військ РХБ захисту.

## Висновки

1. Із аналізу літературних джерел встановлено, що наявні лазерні комплекси мають ряд суттєвих недоліків, а саме: велику вагу установки; високі витрати енергії; низький коефіцієнт корисної дії; великі затрати на фінансування, що є головним чинником для створення компактною установкою за своїми масо-габаритними параметрами, вирішенням питання енергоефективності та збільшенням ККД за рахунок більш високої температури.

2. Застосування та впровадження лазерних технологій може надати значні переваги порівняно з існуючими способами та методами проведення дезактивації. Лазерна обробка надає можливість вирішити проблему багаторазового зменшення або повного зняття радіоактивного зараження техніки та споруд.

3. Можливість підвищувати температуру до 3000 К дає можливість нейтралізувати радіоактивний об'єкт, шляхом зняття шару матеріалу від 0,1 до 20 мм.

## Список літератури

1. CO<sub>2</sub>-лазер на атмосферном воздухе / А.В. Артамонов, А.А. Веденов, А.Ф. Витиас [и др.] // Квантовая электроника. – 1977. – Т.4, № 1. – С. 184-186.
2. Галак О.В. Детонаційні CO<sub>2</sub>-лазери для дезактивації / О.В. Галак, Г.В. Каракуркчі // Збірник матеріалів НТК ЦНДІ ОВТ ЗСУ “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”. – 2014. – С. 434-435.
3. Электроионизационный CO<sub>2</sub>-лазер замкнутого цикла непрерывного действия / Н.Г. Басов, И.К. Бабаев, В.А. Данильчев [и др.] // Квантовая электроника. – 1979. – Т. 6, № 4. – С. 772.
4. Лазерная дезактивация металлических поверхностей / В.П. Вейко, Е.А. Шахно [и др.] // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 8. – С. 33.
5. Мобильный лазерный комплекс для аварийно восстановительных работ в газовой промышленности / О.А. Блохин, В.Г. Востриков, А.Г. Красюков [и др.] // Газовая промышленность. – 2001. – С. 33-34.
6. Галак О.В. Пріоритетні напрямки розвитку лазерної зброї сухопутних військ / О.В. Галак // Механіка та Машинобудування. – 2013. – № 1. – С. 151-156.
7. Напрями розвитку лазерної зброї вчора, сьогодні, завтра / О.В. Галак, Д.В. Карлов, О.Ю. Чернявський, О.Г. Сінько // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 4 (13). – С. 123-130.
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. Механизм создания отверстий в вертикально расположенных металлических пластинах непрерывным излучением CO<sub>2</sub> лазера / В.В. Лыханский, А.И. Лобойко [и др.] // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 26, № 2. – С. 139.
10. Патент № 2086064 Российская федерация, МПК H01S3/22. Мощный CO<sub>2</sub>-лазер на смеси атмосферного воздуха с углекислым газом / Востриков В.Г., Красюков А.Г., Наумов В.Г., Шашков В.М.; заявитель и патентообладатель Троицкий институт инновационных и термодерных исследований № 95110655/25; заявл. 27.06.1995; опубл. 27.07.1997, Бюл. № 8.
11. Патент № 2084978 Франция, МПК G21F9/28. Способ дезактивации поверхности, расположенной в зоне радиоактивного загрязнения ядерной установки / Жан-Пьер Картри; заявитель и патентообладатель Фрамаатом № 5011049/25; заявл. 24.03.1992; опубл. 20.07.1997, Бюл. № 16.
12. Патент № US4225831 A USA МПК 05/932,592. CW Scalable donor-acceptor gas transfer laser / Earl R. Ault, Mani L. Bhaumik; заявитель и патентообладатель The United States Of America As Represented By The Secretary Of The Navy; заявл. 10.08.1978; опубл. 30.09.1980, Грант Patent Number: 4,225,831.
13. Патент № US5624654 A USA МПК 08/647,610. Gas generating system for chemical lasers / Charles W. Clendenning, Jr., Trecil D. Dreiling, William D. English, Martin H. Mach; заявитель и патентообл. Trw Inc; заявл. 13.05.1996; опубл. 29.04.1997, Грант Patent Number: 5,624,654.
14. Патент № US4780880 A USA МПК 07/049,479. Chemical oxygen iodine laser / Robert A. Dickerson; заявитель и патентообладатель Rockwell International Corporation; заявл. 14.05.1987; опубл. 25.10.1988, Грант Patent Number: 4,780,880.
15. Патент № US4653062 A USA МПК US 06/745,970. Chemical oxygen-iodine laser / Steven J. Davis, Harvey V. Lilienfeld, David K. Neumann, Phillip D. Whitefield; заявитель и патентообладатель The United States Of America As Represented By The Secretary Of The Air Force; заявл. 18.06.1985; опубл. 24.03.1987, Грант Patent Number: 4,653,062.
16. Патент № US4307842 A USA МПК US 06/082,367. Nozzle particularly for lasers / Donald H. Morris; заявитель и патентообладатель Rockwell International Corporation; заявл. 05.10.1979; опубл. 29.12.1981, Грант Patent Number: 4,307,842.
17. Патент № US4230996 A USA МПК US 05/970,949. Nozzle array for chemical lasers / Curtis H. Cook, Jr.; заявитель и патентообладатель United Technologies Corporation; заявл. 19.12.1978; опубл. 28.10.1980, Грант Patent Number: 4,230,996.
18. Патент № US5974072 A USA МПК 09/009,617. High energy airborne coil laser / Charles W. Clendenning, Jr., Robert J. Day, Jeffrey S. Hartlove, Gary C. Koop; заявитель и патентообладатель Trw Inc.; заявл. 20.01.1998; опубл. 26.10.1999, Грант Patent Number: 5,974,072.
19. Патент № US4206429 A USA МПК US 05/836,120. Gas dynamic mixing laser / Edward A. Pinsley; заявитель и патентообладатель United Technologies Corporation; заявл. 23.09.1977; опубл. 03.06.1980, Грант Patent Number: 4,206,429.

Надійшла до редколегії 4.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.В. Ведь, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут".

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ CO<sub>2</sub> ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ

А.В. Галак

Возрастающие в мире требования к экологической безопасности дают возможность создания компактной, энергоэффективной установки, в отличие от существующих систем, которая даст возможность существенно влиять и быстро проводить дезактивацию загрязненных поверхностей радиоактивными изотопами за счет выпаривания оксидных пленок под действием излучения.

**Ключевые слова:** боевые лазеры, детонация, дезактивация.

## THE APPLING OF THE DETONATION CARBON OXYGEN LASERS FOR DEACTIVATION

A.V. Galak

Increasing world requirements to ecological safely give the possibility of creating compact energy efficient inspire of existing systems laser devices which will be placed on military reticules and essentially allow to affect deactivation and quickly make radiation isotopes' polluted neutralization by means of vaporing oxide films under radiation.

**Keywords:** battle lasers, detonation, deactivation.