

## СУЧАСНІ ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Каишанов С. Ф., к.т.н., доц., Демчук Г. В., к.т.н., доц. (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського);*

*Татарин Р. В., Ситницький А. Р., студ. (гр. РА-91 ТЕФ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

**Анотація.** Проаналізовано сучасні вимоги безпеки стандарту EN 60825-1 до лазерного устаткування та особливості класифікації даного устаткування за рівнями небезпеки. Надано відповідні практичні рекомендації щодо використання діючої згідно із стандартом EN 60825-1 класифікації лазерного устаткування для забезпечення необхідних нормованих значень параметрів джерел лазерного випромінювання при розробці, проектуванні та експлуатації будь-якої апаратури із застосуванням лазерних технологій.

**Ключові слова:** лазер, безпека.

**Abstract.** The modern safety requirements of the EN 60825-1 standard for laser equipment and the peculiarities of the classification of this equipment according to the levels of danger are analyzed. Appropriate practical recommendations are provided for the use of the current classification of laser equipment in accordance with the EN 60825-1 standard to ensure the necessary standardized values of the parameters of laser radiation sources during the development, design and operation of any equipment using laser technologies.

**Keywords:** laser, safety.

**Вступ.** З урахуванням положень стандарту EN 60825-1 [1] та розробленого на його основі стандарту ДСТУ EN 60825-1:2019 [2] у даній роботі виконано аналіз сучасних вимог безпеки до лазерного устаткування та особливостей класифікації даного обладнання за рівнями небезпеки. Також надано практичні рекомендації щодо використання діючої класифікації лазерного устаткування за рівнями небезпеки для забезпечення необхідних нормованих значень параметрів джерел лазерного випромінювання при розробці, проектуванні та експлуатації будь-якої апаратури із застосуванням лазерних технологій.

**Аналіз стану питання.** Лазер (laser) – це будь-який прилад, який, в більшості випадків, може створювати або підсилювати електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 180 нм до 1 мм і робити це, головним чином, завдяки процесу керованої вимушеної емісії.



Лазерна апаратура може складатися з окремого лазера з джерелом живлення або без нього чи з одного або декількох лазерів в складній оптичній, електричній або механічній системі.

Сфера застосування лазерних технологій досить широка. Наприклад, лазерні системи можуть використовуватися для дослідження фізичних і оптичних явищ, обробки матеріалів, їх широко використовують в промисловості, бізнесі, розважальній індустрії, освіті, медицині, при проведенні наукових досліджень тощо. Також лазерну апаратуру використовують і в сфері ІТ-технологій для зчитування і запам'ятовування даних, передачі і відтворення інформації, створення

голографічних відео зображень. В останній час інтенсивно застосовується і так звана демонстраційна лазерна апаратура (demonstration laser product) – це лазерна апаратура, що призначена та використовується для демонстрації різноманітних оптичних явищ, розваги, рекламування, створення художніх композицій тощо. Також до джерел ЛВ можна умовно віднести і напівпровідникові світло-випромінюючі діоди (СВД), які теж дуже активно використовуються людством у самих різноманітних сферах своєї діяльності.

Безумовно, що вплив лазерних технологій на оточуюче середовище, включаючи і людину, вже зараз досить значний і з часом він буде лише зростати, що вимагає ретельного дотримання діючих вимог з безпеки при їх застосуванні і відповідного нормування параметрів джерел лазерного випромінювання (ЛВ).

В діапазоні довжин хвиль від 180 нм до 1 мм ці параметри на даний час повинні встановлюватися у відповідності до вимог ІЕС 60825-1 (ДСТУ EN 60825-1:2019 «Безпека лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги»). Крім того, в залежності від сфери застосування лазерної апаратури, повинні додатково враховуватися вимоги і інших частин даного стандарту [3-5], а також стандартів, що діють окремо у кожній із цих сфер [6-9].

Призначення стандарту EN 60825 це:

- запровадити систему класифікації лазерів та лазерних виробів, що працюють у діапазоні довжин хвиль від 180 нм до 1 мм відповідно до ступеня небезпеки ЛВ з метою надання допомоги користувачам в оцінці небезпек та у визначенні необхідних заходів щодо контролю та захисту від них;

- встановити вимоги до виробника щодо надання необхідної інформації з безпеки експлуатації лазерних виробів та запобіжних заходів;

- за допомогою ярликів та інструкцій забезпечити належну засторогу для осіб, які стикаються з небезпеками, що пов'язані із можливим опроміненням від лазерних виробів;

- зменшити ризики травмування за допомогою зведення до мінімуму зайвого доступного опромінення та забезпечити посилений контроль за небезпеками джерел лазерного випромінювання та необхідні з точки зору безпеки елементи захисту.

**Мета роботи:** проаналізувати сучасні вимоги безпеки стандарту EN 60825-1 до лазерних виробів, що працюють в діапазоні довжин хвиль від 180 нм до 1 мм, та визначити основні особливості їх класифікації за рівнями небезпеки, а також надати відповідні практичні рекомендації щодо використання діючої класифікації лазерного устаткування для забезпечення відповідних нормованих значень параметрів джерел лазерного випромінювання при розробці, проектуванні та експлуатації будь-якої апаратури із застосуванням лазерних технологій.

**Методики, матеріали і результати досліджень.** До основних нормованих параметрів джерел ЛВ, які характеризують рівень їх небезпеки (в першу чергу для очей та шкіри) згідно стандарту ІЕС 60825-1 відносяться:

- гранична межа доступної емісії (ГМДЕ) /accessible emission limit, AEL/, одиниці виміру Дж і Вт або Дж/м<sup>2</sup> і Вт/м<sup>2</sup> – це максимальне значення доступної емісії лазерної апаратури /рівня її випромінювання/, що встановлюється в залежності від його класу небезпеки;

- тривалість емісії (emission duration) – це тимчасова тривалість імпульсу, послідовності або серії імпульсів, або безперервного функціонування, протягом якої доступ людини до лазерного випромінювання виявляється можливим під час функціонування, технічного або сервісного обслуговування лазерної апаратури;

- максимально допустима енергетична експозиція (МДЕ) /maximum permissible exposure, MPE/, одиниці виміру Дж і Вт або Дж/м<sup>2</sup> і Вт/м<sup>2</sup> – це максимальний рівень лазерного опромінення персоналу, який при нормальних умовах ще не призводить до шкідливих наслідків;

- тривалість енергетичної експозиції (exposure duration) – це тривалість імпульсу або серії, або послідовності імпульсів, або безперервної емісії лазерного випромінювання при попаданні на тіло людини;

- енергетична освітленість E, одиниці виміру Вт/м<sup>2</sup> (intrabeam viewing) – це відношення потоку випромінювання, що падає на частину поверхні, до площі цієї частини поверхні;

- клас небезпеки лазера за діючою класифікацією (існуючі класи: 1; 1M; 2; 2M; 3R; 3B; 4 – надані в порядку підвищення рівня небезпеки);

- довжина хвилі ЕМВ лазера (від 180 нм до 1 мм);

- номінально небезпечна для очей зона (ННОЗ) /nominal ocular hazard area NOHA/ – це зона, всередині якої енергетична освітленість або енергетична експозиція може перевищувати передбачуване значення максимально допустимої експозиції (МДЕ) з огляду на можливість випадкового зміни напрямку лазерного пучка;

- номінально небезпечна для очей відстань (ННОВ) /nominal ocular hazard distance NOHD/ – це відстань від вихідної апертури, на якій енергетична освітленість або енергетична експозиція дорівнює передбачуваному значенню максимально допустимої енергетичної експозиції (МДЕ).

- Згідно діючої за стандартом класифікації джерел лазерного випромінювання (ЛВ) за класами небезпеки (стандарт ІЕС 60825-1 /ДСТУ EN 60825-1:2019/) уся лазерна апаратура поділяється на наступні класи за безпекою.

*Лазерна апаратура класу 1 /Class 1 laser product/:* будь-яка лазерна апаратура, яка в процесі функціонування не допускає можливості доступу людини до лазерного випромінювання, яке перевищує ГМДЕ встановлену за класом 1 для відповідних довжин хвиль і тривалості емісії.

Така лазерна апаратура безпечна при будь-яких обґрунтовано передбачуваних умовах роботи, включаючи тривале пряме спостереження в пучку, навіть в тих випадках, коли експозиція відбувається через оптичні пристрої спостереження. Також до класу 1 також відносяться лазери великої потужності закритого типу, конструкції яких виключають можливість доступу людини до лазерного випромінювання (ЛВ) за рахунок використання вбудованої лазерної апаратури. Спостереження в пучку лазера класу 1, який випромінює енергію у видимому діапазоні, може викликати ефект втрати або погіршення зору лише при низькій освітленості зовнішнього середовища.

*Лазерна апаратура класу 1M /Class 1M laser product/:* будь-яка лазерна апаратура в діапазоні довжин хвиль від 302,5 до 4000 нм, в якій в процесі її

функціонування можливий доступ людини до лазерного випромінювання, що перевищує максимальне значення ГМДЕ для класу 1 при відповідних довжинах хвиль і тривалості емісії.

Ця лазерна апаратура є безпечною у разі тривалого прямого спостереження в пучку, навіть в тих випадках, коли експозиція (опромінення) відбувається через оптичні пристрої спостереження, такі, як лупа або бінокль. Спостереження в пучку лазера класу 1M, який випромінює енергію у видимому діапазоні, може викликати ефект втрати або погіршення зору лише при низькій освітленості зовнішнього середовища.

*Лазерна апаратура класу 2 /Class 2 laser product/:* будь-яка лазерна апаратура в діапазоні довжин хвиль від 400 до 700 нм, в якій в процесі її функціонування можливий доступ людини до лазерного випромінювання, що перевищує ГМДЕ для класу 2 при відповідних довжинах хвиль і тривалості емісії.

Лазерна апаратура цього класу має ЛВ, яке є безпечним при миттєвому /короткочасному/ опроміненні ( $t_{\text{опр}} \leq 0,25$  сек), але може бути небезпечним при безпосередньому опроміненні пучком ЛВ широко відкритих очей. Величина  $t_{\text{опр}} \leq 0,25$  сек прийнята при визначенні класу і мінімального ризику пошкодження при миттєвому опроміненні.

Наступні фактори сприяють запобіганню ушкоджень при обґрунтовано прогнозованих умовах:

- ненавмисне опромінення при несприятливих умовах (наприклад, при знаходженні на одній лінії пучка ЛВ і зіниці ока) можливо лише зрідка;
- обов'язкова наявність зон безпеки при перевищенні допустимих значень МДЕ.

Однак лазерна апаратура класу 2 при певних умовах може викликати тривале або короткочасне осліплення, утворення залишкового зображення джерела, особливо в умовах низької навколишнього освітленості. Це може мати непрямі небезпечні наслідки, що виникають в результаті тимчасового порушення зору або переляку. З такими порушеннями зору можуть, зокрема, бути пов'язані небезпечні ситуації при виконанні деяких небезпечних операцій, таких як робота з механізмами або робота на висоті, робота з високою напругою, управління транспортним засобом тощо.

Для виключення такої негативної дії ЛВ рекомендується не дивитися в пучок ЛВ і застосовувати активні попереджувальні реакції, а саме, відвертатися або закривати очі і уникати тривалого навмисного спостереження пучка ЛВ.

*Лазерна апаратура класу 2M /Class 2 laser product/:* будь-яка лазерна апаратура в діапазоні довжин хвиль від 400 до 700 нм, в якій в процесі її функціонування можливий доступ людини до лазерного випромінювання, що перевищує ГМДЕ для класу 2 при відповідних довжинах хвиль і тривалості емісії.

Клас 2M за своїми показниками безпеки схожий із попереднім класом, але на відміну від класу 2, який допускає використання оптичних приладів без підвищення ризику пошкодження очей, клас 2M є потенційно небезпечним при використанні будь-яких оптичних приладів.

*Лазерна апаратура класу 3R та класу 3B (Class 3R and Class 3B laser products):* будь-яка лазерна апаратура, яка в процесі функціонування допускає

доступ людини до лазерного випромінювання, для якого ГМДЕ встановлені класами 1 і 2 відповідно, але яка не допускає доступ людини до лазерного випромінювання, для якого ГМДЕ встановлені класами 3R і 3B відповідно для будь-якої тривалості емісії і довжині хвилі.

Випромінювання лазерної апаратури класу 3R може перевищити МДЕ при прямому спостереженні в пучку, однак ризик пошкодження органів зору в більшості випадків не дуже високий, оскільки ГМДЕ для лазерів класу 3R тільки в п'ять разів вище, ніж ГМДЕ для лазерів класу 2 і 2M (діапазон довжин хвиль від 400 до 700 нм) або ГМДЕ для лазерів класу 1 і 1M для інших довжин хвиль. Також ЛВ максимально небезпечно при знаходженні пучка ЛВ и зіниці ока на одній лінії, при цьому ризик пошкодження органів зору підвищується пропорційно тривалості експозиції. Що стосується факторів, які сприяють запобіганню ушкоджень при обґрунтовано прогнозованих умовах, то вони для даного класу безпеки майже такі ж самі, як і класів 2 та 2M.

Лазерна апаратура класу 3R повинна використовуватися тільки в тих випадках, коли пряме спостереження в пучку малоімовірно.

Крім того, необхідно зазначити, що лазерна апаратура класу 3R, як і апаратура класів 2 та 2M, при певних умовах також може викликати тривале або короткочасне осліплення, утворення залишкового зображення джерела, особливо в умовах низької навколишньої освітленості, що, в свою чергу, може призвести до непрямих небезпечних наслідків, які виникають в результаті тимчасового порушення зору або переляку.

Лазерна апаратура класу 3B, на відміну від класу 3R, має номінально небезпечну для очей зону (ННОЗ) навіть у разі короткочасного опромінення прямим та дзеркально-відбитим ЛВ, якщо це випромінювання наближається до ГМДЕ для класу 3B, при цьому спостереження дифузно-відбитого ЛВ залишається безпечним. Слід також зазначити, що ЛВ, яке наближається до ГМДЕ для класу 3B, може викликати як незначні ураження шкіри, так і навіть викликати запалення пожежонебезпечних матеріалів, хоча останнє може стати ймовірним тільки у тому випадку, коли пучок має малий діаметр або він сфокусований.

*\*Примітка: Існують теоретичні (але малоімовірні) умови спостереження, коли може мати місце дифузно-відбите ЛВ, рівень опромінення якого перевищує МДЕ. Наприклад, для лазерів класу 3B його потужність може наблизитися до ГМДЕ лише при тривалості спостереження дифузно-відбитого видимого випромінювання не менше 10 с і спостереженні з відстані менше 13 см між дифузно-відбиваючою поверхнею і рогівкою ока.*

*Лазерна апаратура класу 4 (Class 4 laser product):* будь-яка лазерна апаратура, яка в процесі функціонування допускає доступ людини до лазерного випромінювання з ГМДЕ для класу 3B.

Лазерна апаратура класу 4 може становити небезпеку при спостереженні як в пучку, так і при спостереженні дифузно-відбитого ЛВ, а також при експозиції шкіри. Крім того, при експлуатації цих лазерів існує ризик виникнення пожежі.

*Додаткові зауваження по номенклатурі лазерних пристроїв:*

*1. Індекс «M» в класах 1M і 2M доповнюється при наявності оптичних приладів спостереження;*

*2. Індекс «R» в класі 3R доповнюється у разі зниження або ослаблення вимог,*

для виробника і користувача (наприклад відсутність вимог з блокування тощо).

3. *Небезпека і ризик при експлуатації лазера існують тільки в межах площі навколо нього, де відповідний рівень МДЕ перевищено.*

**Висновки.** Виконаний в даній роботі аналіз сучасних вимог безпеки до лазерного устаткування за стандартом EN 60825-1 та надані рекомендації щодо необхідності запровадження діючої за цим стандартом класифікації устаткування повинні сприяти прискоренню процесу запровадження стандарту EN 60825-1 розробниками РЕА для забезпечення необхідного рівня безпеки та нормованих значень параметрів джерел лазерного випромінювання при розробці, проектуванні та експлуатації будь-якої апаратури із застосуванням лазерних технологій.

## Література

1. EN 60825-1:2014 «Safety of laser products — Part 1: Equipment classification and requirements» (IEC 60825-1:2014, IDT).

2. ДСТУ EN 60825-1:2019 (EN 60825-1:2014, IDT; IEC 60825-1:2014, IDT) «Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги».

3. ДСТУ IEC 60825-2:2006 Безпечність лазерних виробів. Частина 2. Безпечність волоконно-оптичних систем передавання (IEC 60825-2:2005, IDT).

4. ДСТУ IEC TR 60825-3:2016 Безпечність лазерних виробів.. Частина 3. Керівництво по використанню лазерів для видовищних заходів (IEC TR 60825-3:2008, IDT).

5. ДСТУ EN 60825-4:2014 Безпечність лазерних виробів. Часть 4. Лазерні захисні пристрої (EN 60825-4:2006, EN 60825-4:2006/A1:2008, EN 60825-4:2006/A2:2011, IDT).

6. ДСТУ EN 60601-1:2019 Вироби медичні електричні. Частина 1. Загальні вимоги щодо безпеки та основних робочих характеристик (EN 60601-1:2006, IDT; IEC 60601-1:2005, IDT).

7. ДСТУ EN 60950-1:2015 «Обладнання інформаційних технологій. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги» (EN 60950-1:2006; A11:2009; A1:2010; A12:2011; AС:2011; A2:2013, IDT).

8. ДСТУ EN 62368-1:2017 Обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій. Частина 1. Вимоги безпеки (EN 62368-1:2014; AС:2015-05; AС:2015-02; AС:2015-11; AС:2017; A11:2017; IDT; IEC 62368-1:2014, MOD; Cor 1:2014; Cor 2:2015, IDT).

9. ДСТУ EN IEC 60079-0:2019 Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Устаткування. Загальні вимоги (EN IEC 60079-0:2018, IDT; IEC 60079-0:2017, IDT).