

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

- В.М. Балабан**, старший науковий співробітник ННЦ "Інститут метрології", м. Харків
Є.П. Тимофеев, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник ННЦ "Інститут метрології", м. Харків
А.С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (ХНУМГ)
О.М. Ляшенко, старший викладач ХНУМГ, м. Харків



В.М. Балабан



Є.П. Тимофеев



А.С. Литвиненко



О.М. Ляшенко

Статтю присвячено розробці методів і засобів дозиметричного контролю лазерного випромінювання. За результатами вивчення парку вимірювальних приладів, які використовуються в Україні у цій галузі, доведено необхідність створення власного дозиметра лазерного випромінювання. Подано розроблений дозиметр лазерного випромінювання, який придатний до масового виробництва в країні. Розроблено установку для перевірки лазерних дозиметрів, виготовлених відповідно до правил, що діють в Україні.

Ключові слова: лазерне випромінювання, стандарти, дозиметрія.

The article is dedicated to the development of methods and means of dosimetric control of laser radiation. According to the investigation results of the scope of measuring instruments used in Ukraine in this area, the necessity of development of the own laser radiation dosimeter is proved. The developed laser dosimeter is presented, which is suitable for mass production in the country. An installation for testing the laser dosimeters manufactured in accordance with the regulations in force in Ukraine is developed.

Keywords: laser radiation, standards, dosimetry.

Вступ

В Україні все ширшого застосування набувають різноманітні лазерні установки. При цьому необхідно відзначити, що збільшується не тільки кількість лазерних установок, але й різко зростають рівні їх

енергетичних характеристик. Крім того, значне місце в загальній кількості застосовуваних лазерних установок посідають медичні лазерні установки, які є установками відкритого типу. Використання установок відкритого типу особливо небезпечно для технічного персоналу, що проводить щоденні роботи з використанням такої апаратури. Все це призводить до зростання актуальності проведення постійного дозиметричного контролю в зонах дії лазерного випромінювання [1–4].

Хоча наразі всі державні стандарти до 1992 р. практично скасовано, методи дозиметричного контролю, установлені в Методичних вказівках для органів і установ санітарно-епідеміологічних служб із проведення дозиметричного контролю і гігієнічної оцінки лазерного випромінювання (№ 5309–90) [5], продовжують діяти, і дозиметричні вимірювання проводяться цими установами відповідно до СанПіН 5804–91 [6].

Суттєвою перешкодою до здійснення якісного дозиметричного контролю є те, що на цей час приладів для дозиметричного контролю в Україні не випускається, а кількість застарілих лазерних дозиметрів ІЛД-2М із часом закономірно зменшується.

Все вищенаведене вказує на існування певних труднощів при проведенні дозиметричного контролю лазерного випромінювання в Україні.

Метою цієї роботи є поліпшення забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання в Україні.

Для виконання цієї мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- проведено аналіз діючої в Україні нормативної бази щодо забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання, на основі якого показано необхідність перегляду чинних в Україні документів у цій галузі;

- проведено аналіз приладового парку засобів вимірювань у галузі проведення дозиметричного контролю лазерного випромінювання, що застосовується в Україні, та доведено необхідність створення в Україні власного дозиметра лазерного випромінювання;

- розроблено та досліджено дозиметр лазерного випромінювання, придатний до серійного виробництва в Україні;

- створено установку для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання, розроблених відповідно до чинних в Україні нормативних документів у галузі дозиметрії лазерного випромінювання.

Норми при дозиметричному контролі лазерного випромінювання

Діючі в Україні Правила СанПіН 5804–91 установлюють:

- гранично допустимі рівні (ГДР) лазерного випромінювання в діапазоні довжин хвиль 180...105 нм при різних умовах впливу на людину;

- класифікацію лазерів за ступенем небезпеки випромінювання, яке генерується ними.

У СанПіН 5804–91 наведено гранично допустимі рівні лазерного випромінювання при одноразовому та хронічному його впливі. Одноразовим впливом лазерного випромінювання вважається випадковий вплив випромінювання з тривалістю, що не перевищує $3 \cdot 10^{-4}$ с. Хронічний вплив лазерного випромінювання — це вплив, який систематично повторюється і якому піддаються люди, професійно пов'язані з лазерним випромінюванням. Для визначення гранично допустимих значень при хронічному впливі на очі та шкіру колімованого або розсіяного лазерного випромінювання в діапазоні I і II ($180 < \lambda < 1400$ нм) необхідно зменшити в 10 разів відповідні граничні значення, а в діапазоні III ($1400 < \lambda < 105$ нм) — в 5 разів.

Відповідно до чинного на цей час ДСТУ EN60825–1: 2016, за ступенем небезпеки генерованого випромінювання лазери підрозділяються на сім класів.

Клас 1 — лазери, які є безпечними при передбачуваних умовах експлуатації, навіть коли використовують оптичні прилади для прямого спостереження пучка.

Клас 1М — лазери, які випромінюють промінь у діапазоні довжин хвиль 302,5...4000 нм, які є безпечними при передбачуваних умовах експлуатації, але можуть бути небезпечними, якщо користувач застосовує оптику на шляху пучка.

Використання оптики в межах пучка може бути небезпечним у двох випадках:

для пучка, який розходить, і якщо користувач має оптику на відстанях до 100 мм від джерела пучка, або

для колімованих пучків із діаметром, більшим, ніж діаметр, рекомендований для вимірювання опромінення і енергетичної експозиції.

Діаметр обмежуючої апертури при дозиметричному контролі лазерного випромінювання з довжинами хвиль 400...1400 нм дорівнює 7 мм.

Клас 2 — лазери, які випромінюють видимий промінь у діапазоні довжин хвиль 400...700 нм, де захист забезпечується природними реакціями, включаючи рефлекс мерехтіння. Цю реакцію можна попередньо передбачити відповідним захистом під час прийнятних очікуваних умов роботи, використовуючи оптичні прилади для прямого спостереження пучка.

Клас 2М — лазери, які випромінюють видиме випромінювання в діапазоні довжин хвиль 400...700 нм, де захист забезпечується природними реакціями, включаючи рефлекс мерехтіння. Однак спостереження вихідного випромінювання може бути небезпечніше, якщо користувач застосовує оптику в межах пучка.

Клас 3R — лазери, які випромінюють у діапазоні довжин 302,5...106 нм, де безпосереднє спостереження є потенційно небезпечним, але ризик нижче ризику лазерів класу 3В. Допустима межа випромінювання лежить у межах п'ятикратних допустимих меж випромінювання для класу 2 в діапазоні довжин хвиль 400...700 нм і в межах п'ятикратних допустимих меж випромінювання для класу 1 в інших діапазонах довжин хвиль.

Клас 3В — безпосереднє спостереження таких лазерних виробів завжди небезпечно. Видиме розсіяне випромінювання зазвичай є безпечним.

Клас 4 — лазерні вироби, які створюють небезпечне розсіяне випромінювання. Вони можуть викликати ураження шкіри, а також створити небезпеку пожежі. При їх використанні слід дотримуватися особливої обережності.

Отже, визначення класів небезпеки в СанПіН 5804–91 не збігаються з класифікацією, наведеною в ДСТУ EN60825–1:2016 [8]. Діапазон довжин хвиль, що розглядається в СанПіН 5804–91, не збігається з діапазоном довжин хвиль ДСТУ EN60825–1:2016. Гранично допустимі рівні лазерного випромінювання, наведені в СанПіН 5804–91, не збігаються з максимально допустимими рівнями, наведеними в ДСТУ EN60825–1:2016. У зв'язку із цим ми рекомендуємо при визначенні параметрів лазерного дозиметра керуватися при проведенні дозиметричного контролю виключно даними, наведеними в ДСТУ EN60825–1:2016.

І хоча наразі державний стандарт у галузі лазерної дозиметрії гармонізований з європейським, в Україні необхідні розробка і прийняття скоригованих Санітарних правил. За основу можна взяти, на-



Рис. 1. Макет дозиметра лазерного випромінювання

приклад, Санітарні правила і норми 2.2.4.13–2–2006 “Лазерне випромінювання та гігієнічні вимоги при експлуатації лазерних виробів”, прийняті на території Республіки Білорусь [9] або в інших європейських країнах [10].

Дозиметр лазерного випромінювання

Перешкодою до здійснення якісного дозиметричного контролю є те, що наразі прилади для дозиметричного контролю в Україні не випускаються.

Для вирішення одного із завдань, що поставлені вище, було розроблено і досліджено макет дозиметра лазерного випромінювання, придатний для швидкого впровадження в метрологічну практику України.

З огляду на наведені вище невідповідності, в нині діючих нормативних документах можливі незабаром їх корекції (СанПіН 5804–91), прилад свідомо розроблявся без автоматичного розрахунку гранично допустимих рівнів лазерного випромінювання. Крім того, висновком із наведених вище нормативних документів є те, що для розрахунку гранично допустимих рівнів необхідно враховува-

ти геометрію, спектральний склад джерела випромінювання і цілу низку інших параметрів. Усе це, як уже зазначалося вище, зумовило розробку нами спеціального програмного забезпечення для визначення класу небезпеки джерела лазерного випромінювання.

Конструктивно дозиметр лазерного випромінювання є малогабаритним настільним приладом, що складається з вимірювального блоку, змінних фотоприйомних пристроїв і підставки приймача (рис. 1).

На рис. 2 наведено структурну схему дозиметра лазерного випромінювання. У відповідності до схеми побудови, дозиметр лазерного випромінювання складається з фотоприймального пристрою і блока вимірювального. До складу фотоприймального пристрою входять: бленда, комплект змінних діафрагм, оптичний інтегратор, фотоприймач. До складу блока вимірювального входять: багатомежовий перетворювач струм-напруга, інтегратор, піковий детектор, схема АЦП, індикатор, перемикач меж, схема скидання показань.

Прилад має вбудоване джерело живлення на напругу 9 В і за необхідності може комплектуватися зовнішнім блоком живлення.

Фотоприймальний пристрій дозиметра лазерного випромінювання укріплено на підставці приймача, яка може встановлюватися на будь-яку горизонтальну площину.

Конструкція підставки допускає юстування і фіксацію положення фотоприймача в різних положеннях. За необхідності передбачено установку фотоприймального пристрою на штатив. Фотоприймальний пристрій відповідно до вимог ДСТУ EN60825–1:2016, комплектується змінними обмежувачами діафрагмами (1; 3,5; 7 мм). Фотоприймальний пристрій також оснащено відповідними оптичними послаблювачами. Як первинний вимірювальний перетворювач у фотоприймальному пристрої ФПУ-1 застосовано кремнієвий фотодіод, що забезпечує роботу приладу в діапазоні 0,3...1,06 мкм. Для розширення робочого діапазону довжин хвиль відпрацьовано конструкцію фотоприймального пристрою ФПУ-2 із застосуванням германієвого фотодіода, що забезпечує роботу приладу в діапазоні 0,48...1,8 мкм. За необхідності дозиметр може комплектуватися додатковим фотоприймальним

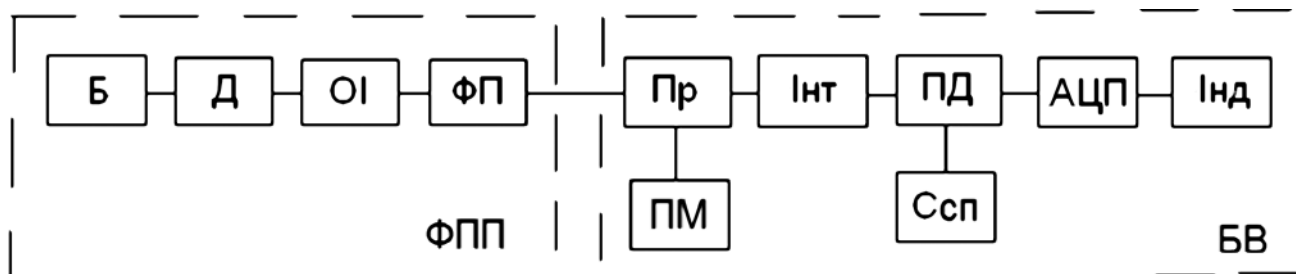


Рис. 2. Структурна схема приладу: Д — діафрагма; Пр — перетворювач струм-напруга; Б — бленда; Інт — інтегратор; ОІ — оптичний інтегратор; ПД — піковий детектор; ФП — фотоприймач; ПМ — перемикач меж; АЦП — аналого-цифровий перетворювач; Інд — індикатор зображення; ФПП — фото-приймальний пристрій; БВ — блок вимірювальний; Ссп — схема скидання показань



Рис. 3. Установка для повірки дозиметрів лазерного випромінювання на довжинах хвиль 0,63 і 0,8 мкм



Рис. 4. Установка для повірки дозиметрів лазерного випромінювання на довжинах хвиль 10,6 і 1,06 мкм

пристроєм ФПУ-3 на основі болометра для контролю лазерного випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 2 до 11 мкм, при цьому автономне живлення всього дозиметра стає неможливим у зв'язку з необхідністю організації двополярного живлення додаткового приймального елемента. У цьому випадку використовується зовнішній блок живлення, що підключається до промислової мережі 220 В.

З огляду на тенденції розвитку лазерної техніки, а також вимоги ДСТУ EN60825–1:2016, робочий діапазон дозиметра ЛД-10 розширено до ультрафіолетового випромінювання.

Межа основної похибки дозиметра ЛД-10 не перевищує 15 %. Проведені дослідження показали, що характеристики розробленого приладу не тільки знаходяться на рівні зарубіжних аналогів, а й перевершують їх.

Для повної автоматизації контролю характеристик різних пристроїв і установок на основі лазерних джерел випромінювання виникає необхідність швидкого визначення довжини хвилі, що не реалізовано в макеті дозиметра, поданого вище. Для реалізації автоматизації роботи цього пристрою і оперативного отримання даних про цю характеристику лазерного випромінювання наразі ведуться роботи з його розробки.

Установка для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання

Установку для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання, наведену на рис. 3, 4, розроблено відповідно до діючих в Україні нормативних документів у галузі дозиметрії лазерного випромінювання.

Принцип дії установки для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання полягає в тому, що при проведенні перевірочних робіт формується і направляється пучок лазерного випромінювання регульованої потужності з відомими енергетичними параметрами в дозиметр, що перевіряється.

Регулювання потужності здійснюється шляхом розсіювання лазерного випромінювання набором матованих світлофільтрів. Дискретне регулювання здійснюється за допомогою вибору кількості світлофільтрів у наборі, а плавне — зміною відстані між набором світлофільтрів і дозиметром, що перевіряється. Змінна діафрагма, встановлена після набору світлофільтрів, формує із розсіяного випромінювання пучок потрібної густини потужності або енергії, який спрямований на дозиметр. Енергетичні параметри сформованого пучка визначаються еталонним вимірником, який у процесі перевірки замінюється дозиметром, що перевіряється. Стабільність потужності випромінювання при заміні еталонного вимірника дозиметром, що перевіряється, контролюється вимірником — “свідком”, до якого відгалужувальне дзеркало направляє частину лазерного випромінювання.

До складу установки входять джерела безперервного лазерного випромінювання на довжинах хвиль 0,63, 0,8 і 10,6 мкм і джерело імпульсного лазерного випромінювання на довжині хвилі 1,06 мкм із можливим застосуванням подвоєння частоти до 0,53 мкм, а також оптичні елементи, які дозволяють отримувати на виході оптичної системи випромінювання будь-якого із цих лазерів.

Конструктивно установку для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання розміщено в оптичному модулі державного первинного еталона одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання (ДЕТУ 11–04–12).

До комплексу основних і допоміжних засобів виміральної техніки установки для перевірки лазерних дозиметрів входять: вимірники типу ПВДЦ-2, кожний з яких складається із двох приладів: ватметра ПВЦ-2 і джоульметра ПДЦ-2; оптичний блок, що складається із дзеркал, світлофільтрів і набору діафрагм; фотометрична сфера; генератор імпульсів типу Г5–56; частотомір ЧЗ–64; осцилограф.

Розроблена установка для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання має технічні характеристики, наведені нижче. Робочий спектральний діапазон установки становить від 0,5 до 11 мкм. Діапазони значень потужності та енергії лазерного випромінювання, відтворюваних установкою, становлять $10^{-6} \dots 10^{-2}$ Вт і $10^{-5} \dots 10^{-2}$ Дж відповідно. Діапазони значень густини потужності і щільності енергії лазерного випромінювання, відтворюваних установкою, становлять $10^{-7} \dots 10^{-3}$ Вт/см² і $10^{-6} \dots 10^{-3}$ Дж/см² відповідно. Похибки вимірювання середньої потужності безперервного і енергії імпульсного лазерного випромінювання установки не перевищують 3,3 і 4,6 % відповідно. Основні похибки вимірювання щільності середньої потужності безперервного і щільності енергії лазерного випромінювання не перевищують 4,3 і 5,6 % відповідно.

Розглянуту вище установку для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання розроблено в повній відповідності до діючих в Україні нормативних документів у галузі дозиметрії лазерного випромінювання.

Висновки

Очевидно, що існуючі СанПіН 5804–91 вимагають перегляду з метою приведення їх у відповідність до ДСТУ EN60825–1:2016. Наразі при проведенні дозиметрії лазерного випромінювання слід керуватися тільки даними, наведеними в ДСТУ EN60825–1:2016.

У результаті проведеної роботи було розроблено дозиметр лазерного випромінювання. Проведені дослідження розробленого дозиметра показали, що низка характеристик приладу перевищує показники зарубіжних аналогів.

Описаний прилад може бути використаний при проведенні дозиметричного контролю лазерного випромінювання службою санітарно-гігієнічного нагляду України, для органів випробувань і сертифікації продукції, організацій і медичних установ, які розробляють, випускають і експлуатують лазерну техніку.

Розроблено установку для перевірки дозиметрів лазерного випромінювання, яка повністю відповідає чинним в Україні нормативним документам у галузі дозиметрії лазерного випромінювання.

Для забезпечення оперативного контролю довжини хвилі лазерного випромінювання наразі ведуться роботи з розробки автоматизованого зразка дозиметра.

Список літератури

1. Соклаков А.И. Проблемы дозиметрии лазерного излучения в медицине и биологии // *Laser Market*. 1993. № 6. С. 14–15.
2. Цепколенко В.А. Лазерные технологии в эстетической медицине. Киев: ЗАО “Компания “Эстет”. 2009. 191 с.
3. Тимофеев Е.П. Метрологическое обеспечение в области энергетической лазерометрии // *Український метрологічний журнал*. 2007. № 1. С. 29–33.
4. Тимофеев Е.П. Дозиметрия лазерного излучения // Там же. 2010. № 3. С. 35–39.
5. МУ № 5309–90. Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологических служб по проведению дозиметрического контроля и гигиенической оценке лазерного излучения. Москва: Министерство здравоохранения СССР, 1990. 16 с.
6. СанПиН 5804–91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров. Москва: Министерство здравоохранения СССР, 1992. 76 с.
7. Сайт розробника програми LaserSafe PC5.20 [Електронний ресурс]. URL: www.lasersafepc.com/
8. ДСТУ EN60825–1: 2016 (EN60825–1:2014, IDT). Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги: чинний від 13.07.2016 р. Київ: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 110 с.
9. Санитарные правила и нормы 2.2.4–13–2–2006. Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2006. 45 с.
10. Code of Practice for Laser Safety. Nottingham: The University of Nottingham. 2013. P. 12.