

УДК.535.232:628.981: 621.383.52

Ю. Г. Добровольський
 НВФ «Тензор», м. Чернівці,
 E-mail: td_tenzor@mail.ru

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ УМОВ ПРАЦІ

Вступ

Сучасне виробництво широко використовує різноманітні джерела лазерного випромінювання, які створюють певні рівні потоків як прямого, так і відбитого та розсіяного випромінювання. Такі потоки можуть негативно впливати на органи зору працівників, а в разі суттєвого перевищення припустимих значень [1], на певних довжинах хвиль, викликати пошкодження шкіряного покриву, спричинити погіршення психосоматичного стану та викликати передчасну втому.

З другого боку, технологічні процеси, в яких застосовується лазерне випромінювання, потребують певного нормування його характеристик. Ненормоване випромінювання не тільки не забезпечує вимоги до технологічного процесу – наприклад полімеризації, або фотолітографії, а може стати причиною наднормованих витрат електроенергії і навіть аварійної ситуації.

Основними параметрами лазерного випромінювання, які підлягають контролю на відповідність [1], є потужність, енергія, енергетична освітленість (опроміненість), енергетична експозиція та, у деяких випадках - тривалість імпульсу лазерного випромінювання для імпульсних джерел.

В Україні використовується декілька приладів для вимірювання параметрів лазерного випромінювання, але вони мають певні недоліки, зокрема ні один з них не здатен вимірювати параметри лазерного випромінювання ультрафіолетової області спектру та випромінювання лазерів з довжиною хвилі 1,3; 1,55 мкм, які сьогодні широко застосовуються у світі при виготовленні комп'ютерної техніки (наприклад пристрої для запису та читання лазерних дисків) у військовій техніці.

Згідно [1] для вимірювання параметрів лазерного випромінювання – потужності, енергії, енергетичної освітленості (опроміненості), енергетичної експозиції, а також тривалості лазерного імпульсу для імпульсних джерел, рекомендовані такі прилади: ИЛД-2М, ЛДМ-2, ЛДМ-3, ЛДК, ЛДОК [2], які в цілому забезпечують вимірювання у спектральному діапазоні 0,4 – 1,15 мкм та на довжині хвилі 10,6 мкм з межею основної відносної припустимої похибки вимірювання від ± 18

до ± 30 %. Слід звернути увагу, що на сьогодні згадані прилади є застарілими (щонайменше 20 років використання), тому потребують заміни на більш сучасні.

Досить широко відомий вітчизняний вимірювач параметрів лазерного випромінювання ИМЛИ-2 [3], який забезпечує вимірювання значень енергії лазерного випромінювання від 0,03 до 300 мкДж у спектральному діапазоні 0,45 – 1,1 мкм з межею основної відносної припустимої похибки ± 10 %. Також відомий фотометр - радіометр «Кварц-01» [4], призначений для вимірювання потоку монохроматичного випромінювання в спектральному діапазоні від 0,25 до 1,05 мкм. Діапазон потужностей, що вимірюються приладом складає від $2 \cdot 10^{-9}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ Вт при межі основної відносної припустимої похибки ± 10 %.

Російський дозиметр лазерного випромінювання ЛД-4 [5] здійснює вимірювання значень енергетичної освітленості від 1 до 200 мкВт/см² у спектральному діапазоні 0,49 – 1,15 мкм та від 100 до 20000 мкВт/см² у спектральному діапазоні 2 - 11 мкм з межею основної відносної припустимої похибки ± 14 та ± 20 % відповідно у першому та другому спектральних діапазонах. Також ЛД-4 забезпечує вимірювання значень енергетичної експозиції від 0,01 до 2 мкДж/см² у вищезазначених спектральних діапазонах з межею основної відносної припустимої похибки ± 20 %. Американський вимірювач потужності лазерного випромінювання EW-41930-10 [6] вимірює **значення** енергії лазерного випромінювання від 10^{-5} до 40 мкДж у спектральному діапазоні 0,4 – 1,1 мкм з межею основної відносної припустимої похибки ± 5 %.

З огляду на вимоги [1], вимірювачі параметрів лазерного випромінювання повинні забезпечувати вимірювання потужності у діапазоні 0,6 – 14 мкВт, енергії у діапазоні $8 \cdot 10^{-3}$ -1,5 мкДж, енергетичної освітленості (опроміненості) у діапазоні 0,25 – 630 Вт/м², енергетичної дози у діапазоні 2,2 – 10^3 Дж/м². Аналіз відомих аналогів показує, що жоден з них не забезпечує вимірювання зазначених параметрів у комплексі.

Серед відомих сьогодні аналогів немає приладів, які можуть виконувати вимірювання параметрів лазерного випромінювання в ультрафіолетовій області спектру, а також у діапазоні 0,8 – 1,8 мкм, в той час, коли у цих діапазонах працюють досить багато лазерів, в тому числі промислових. Окрім того, жоден з відомих аналогів не забезпечує вимірювання відбитого та розсіяного лазерного випромінювання, як того вимагає [1].

Таким чином питання приладового контролю позанормативного впливу параметрів випромінювання, генерованого різноманітними джерелами лазерного випромінювання у виробничому середовищі, є **актуальним** та доцільним.

Мета роботи.

Виходячи з вищенаведеного метою даної роботи є створення концепції та макетних зразків портативного засобу вимірювальної техніки для контролю потужності, енергії, енергетичної освітленості (опроміненості) та експозиції, а також тривалості імпульсу лазерного випромінювання імпульсних джерел, в тому числі відбитого та розсіяного, який би відповідав вимогам сучасної нормативної документації щодо стану безпеки та гігієни праці виробничого середовища і забезпечував би високі метрологічні та експлуатаційні характеристики.

Результати досліджень.

Фізичною величиною, яка може досліджуватись при вимірюванні лазерного випромінювання, є певна величина струму, генерованого відповідним сенсором, внаслідок опромінювання його лазерним випромінюванням. Спираючись на цю величину, можна розрахувати потужність, а знаючи її - розрахувати енергетичну

освітленість та інші параметри. Отже, для забезпечення вимірювань усіх вищезгаданих фізичних величин потрібно коректно виміряти потужність.

Згідно [7] існують два методи вимірювання максимальної потужності безперервного та імпульсного лазерного випромінювання: метод прямих вимірювань максимальної потужності, коли вона оцінюється за максимальним імпульсом напруги, спричиненої лазерним випромінюванням, і метод непрямих вимірювань максимальної потужності, заснований на розрахунку за відомою енергією імпульсу та його формі. У нашому випадку за основу було взято перший метод – метод прямих вимірювань, оскільки, у порівнянні із другим – розрахунковим, він може забезпечувати меншу величину основної відносної припустимої похибки вимірювання.

При використанні обох методів для забезпечення вимірювань потрібен відповідний приймач випромінювання. Попри досить велике розмаїття різних типів сенсорів, які використовуються для реєстрації лазерного випромінювання [8] найбільш поширеними є термобатарейні (термоелектричні) та фотонні датчики.

В термобатарейних датчиках в якості приймальної площадки виступає чорнена мідна, або керамічна підкладка з термоелектричними датчиками [9, 10]. Вони володіють широким спектральним діапазоном чутливості – від 0,2 до 20 мкм і можуть забезпечувати вимірювання потужності лазерного випромінювання від 1 мВт до 5 кВт [8]. Їх основний недолік – велика інерційність, або час зростання перехідної характеристики, який складає від декількох секунд до декількох мс. Такі властивості термобатарейних датчиків, з одного боку, спрощують завдання вимірювання параметрів лазерного випромінювання з різними довжинами хвиль (від 0,22 мкм – лазер на основі KrCl до 10,6 мкм – лазер на основі CO₂). А з другого боку їх неможливо застосовувати при вимірюванні імпульсних потоків лазерного випромінювання з тривалістю імпульсу менше 1 мс.

В якості фотонних приладів переважно застосовуються кремнієві та германієві фотодіоди. Фактично будь-який фотоприймач, вихідний сигнал якого пропорційний падаючому променистому потоку, дозволяє виміряти потужність безперервного випромінювання лазерів або енергію їх імпульсного випромінювання. Для вимірювання середньої потужності випромінювання лазерів безперервної дії застосовують напівпровідникові фотоприймачі з *p-n*-переходом. Енергію випромінювання лазерів, що працюють в імпульсному режимі, виміряють інтегруванням вихідного сигналу фотоприймача. Певний недолік при застосуванні фотодіодів є та обставина, що кожен з них оптимізований на роботу у певному діапазоні довжин хвиль оптичного випромінювання. Тому для вимірювання випромінювання різних лазерів, які працюють на різних довжинах хвиль, потрібні різні фотодіоди. З другого боку фотодіоди здатні вимірювати імпульсне лазерне випромінювання з тривалістю імпульсу до декількох десятків нс, що дає їм перевагу перед неселективними термоелектричними приймачами випромінювання при роботі з імпульсними потоками.

Для забезпечення вимірювання параметрів випромінювання різноманітних лазерів, працюючих на різних довжинах хвиль, нами запропоновано застосувати у вимірювачі параметрів лазерного випромінювання декілька радіометричних головок, оптимізованих на різні спектральні діапазони.

З метою забезпечення мінімальних шумів фотодіодів, які є чутливими у ближній інфрачервоній області спектру оптичного випромінювання, застосовані термоелектричні модулі (ТЕМ) Пельть'є підвищеної надійності, створені за оригінальною технологією [11].

Вимірювання потоків лазерного випромінювання є досить складним завданням, складність якого полягає у тому, що при вимірюванні малих потоків, малих

потужностей, важливо оптимізувати спектральну характеристику фотоприймача, зазвичай фотодіода, під певну довжину хвилі, яку генерує лазер. З другого боку, вимірювання великих потужностей призводить до розігріву фотоприймача, і, відповідно, до спотворення результатів вимірювання.

Ще одна проблема полягає у вимірюванні імпульсного випромінювання. Зазвичай тривалість імпульсу випромінювання лазера складає від одиниць до декількох десятків нс. Це висуває відповідні вимоги до фотоприймачів.

Виходячи з вищенаведеного, у НВФ «Тензор» на основі попереднього багаторічного досвіду, запропоновано дві базові концептуальні схеми вимірювача параметрів лазерного випромінювання.

Перша концептуальна схема.

Перша концептуальна схема складається з комплекту змінних радіометричних головок, попереднього підсилювача для кожної радіометричної головки, блоку перетворення аналогового фотосигналу у цифровий (АЦП), мікропроцесора, завданням якого є визначення та розрахунок потужності, енергетичних величин та тривалості імпульсу лазерного випромінювання і виведення їх на рідкокристалічний дисплей. Загальна структурна схема приладу наведена на рис. 1, зовнішній вигляд – на рис. 2.

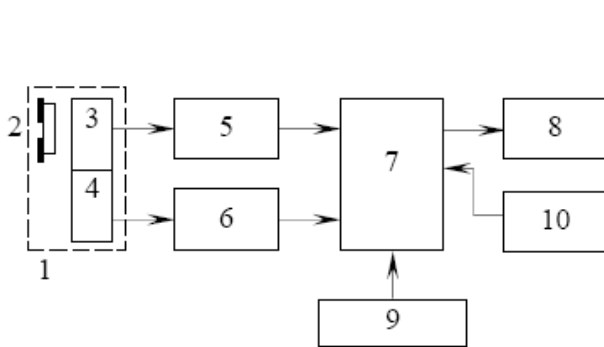


Рис. 1 - Структурна схема вимірювача параметрів лазерного випромінювання
 1 - радіометрична головка; 2 - діафрагма зі світлофільтром; 3,4 - фотоприймачі першого і другого каналів; 5,6 - підсилювачі фотосигналу з першого і другого фотоприймачів; 7 - мікроконтролер; 8 - рідкокристалічний індикатор 16.4; 9 - клавіатура; 10 - блок живлення.



Рис. 2 - Зовнішній вигляд вимірювача параметрів лазерного випромінювання з радіометричними головками на УФ діапазон спектру, виконаного за першою концептуальною схемою.

Радіометрична головка (1) складається з двох аналогічних фотоприймачів. Завданням першого (3) є вимірювання потоку лазерного випромінювання, яке падає на нього через діафрагму та світлофільтр (2), завданням другого фотоприймача (4) є вимірювання потоку фонового випромінювання. Фотосигнали, підсилені відповідними підсилювачами (5) та (6) направляються на мікроконтролер типу AT 90 USB 1286, де відбувається їх оцифрування та аналіз за допомогою відповідного програмного забезпечення та вивід виміряних даних у певних фізичних величинах – енергетичної освітленості, експозиції, енергії або потужності з певною величиною межі основної припустимої відносної похибки вимірювання.

Для забезпечення вимірювання відбитого та розсіяного лазерного випромінювання у радіометричних головках застосовані косинусні насадки, які забезпечують кут поля зору головок близький до 180 градусів. При цьому, для довжин хвиль УФ та видимого діапазонів застосовані косинусні насадки, які використовуються

у серійних УФ радіометрах та люксметрах виробництва ТОВ «НВФ «Тензор», а для інфрачервоного діапазону розроблені косинусні насадки оригінальної конструкції.

Вимірювання та аналіз фотосигналів здійснюється шляхом віднімання величини фотосигналу, генерованого першим фотоприймачем (3), від величини фотосигналу, генерованого другим фотоприймачем (4), який вимірює потік фонового випромінювання. Схематичне зображення алгоритму для вимірювання енергетичної освітленості, створюваної лазерним випромінюванням, наведено на рис. 3. Тут використано метод, описаний у [12, 13]. Він полягає у окремому вимірюванні енергетичної освітленості лазерного випромінювання фонові природи (E_1) - потік у діапазоні довжин хвиль поза робочою довжиною хвилі, виміряний за допомогою першого фотодіода (першого каналу) та енергетичної освітленості лазерного випромінювання (E_2), виміряної за допомогою другого фотодіода (потік на робочій діапазоні довжин хвиль). При цьому, на початку вимірювань потрібно ввести початкову, базову інформацію для вимірювання: площа фоточутливого елементу фотодіода (S), діапазон вимірюваних фотострумів (ΔI), виправні коефіцієнти, пов'язані з оптимізацією спектральних вимірювань (δP) та інші. Такий метод дозволяє зменшити похибку вимірювання, пов'язану із чутливістю фотоприймача не тільки до робочої довжини хвилі певного лазера, а і до фонового випромінювання, потік якого може поглинати фотоприймач.

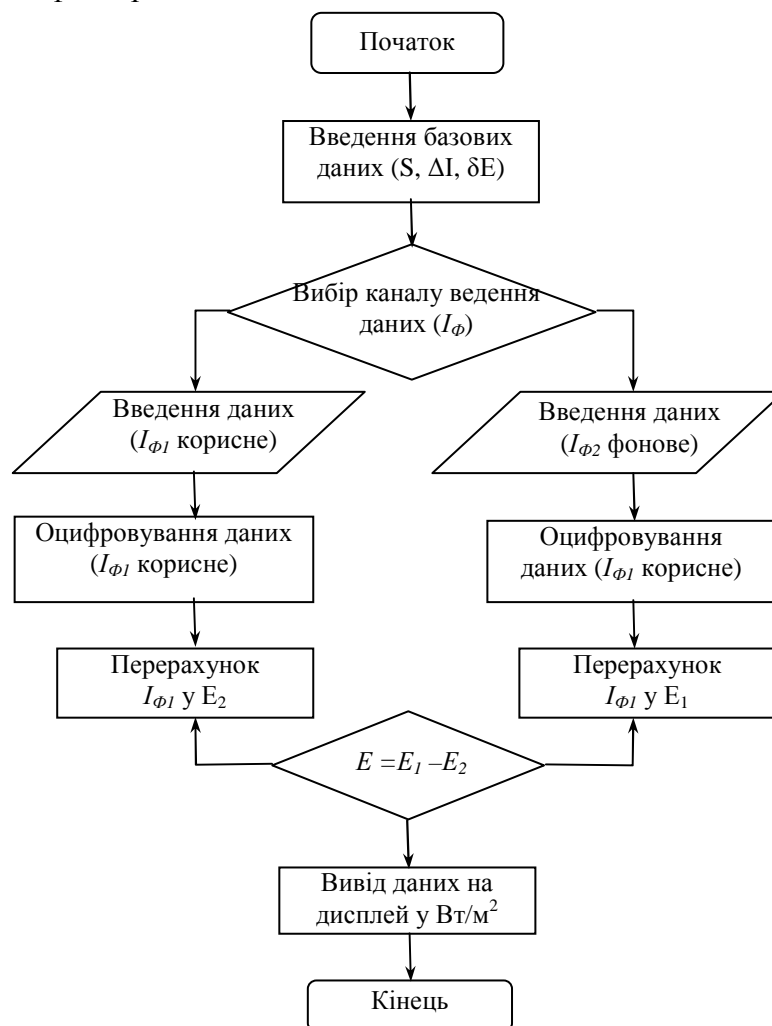


Рис. 3 - Схематичне зображення алгоритму програмного забезпечення для вимірювання потоку лазерного випромінювання за двох-канальною схемою

Для комплектування приладу розроблено радіометричні головки на основі фотоприймачів, чутливих до лазерного випромінювання у певних діапазонах довжин хвиль: 0,2 – 0,45 мкм на основі селеніду цинку [14], 0,4 – 1,1 мкм на основі кремнію [15], 0,8 – 1,8 мкм на основі германію [16] та 1 – 15 мкм на основі антимоніду кадмію [10].

Застосовуючи в якості приймача випромінювання двох- та трьохспектральні фотоприймачі [17, 18] з термоелектричним охолодженням на основі однокаскадного термоелектричного модуля (ТЕМ) [19], можна спростити базову схему приладу. А саме – двох- та трьохспектральний приймачі збудовані так, що приймач першого спектрального каналу (фоточутливий елемент (ФЧЕ) є відрізаючим світлофільтром другого спектрального каналу, оскільки фотоприймачі розташовані у стовпчик (вкладка на рис. 4) і вищий фотоприймач поглинає випромінювання більш короткохвильове, ніж нижчий фотоприймач. Тому немає потреби застосовувати радіометричну головку з двома фотоприймачами. Спектральні характеристики запропонованої радіометричної головки на основі трьох-спектрального фотоприймача наведені на рис. 4.

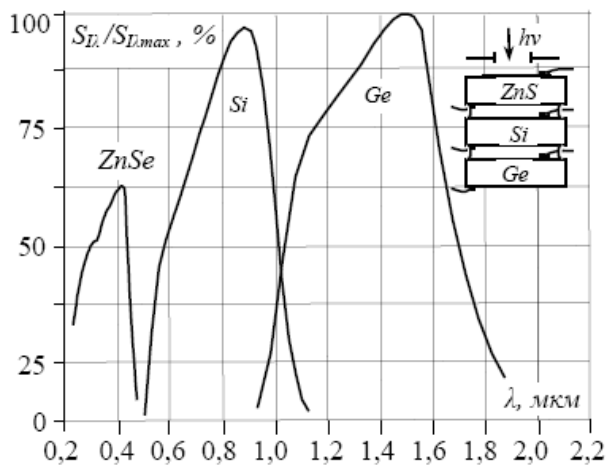


Рис. 4 - Відносна спектральна характеристика чутливості радіометричної головки з трьохспектральним фотоприймачем з фотодіодами на основі *ZnSe*, *Si*, *Ge*.

З другого боку, застосування термоелектричного охолодження, точніше термостабілізації, практично знімає проблему розігріву фотоприймача під час поглинання оптичного випромінювання і дозволяє вимірювати більш короткі імпульси лазерного випромінювання. Хоча, у разі поглинання випромінювання великої потужності для забезпечення постійної температури кристалу фотоприймача холодоутворюючої здатності однокаскадного ТЕМ може не вистачити. Зазвичай, максимальний перепад температури ΔT , який можуть забезпечити розроблені ТЕМ

[11] досягає 70 К. При застосуванні трьох- каскадного ТЕМ ця температура може зрости, приблизно, до 100 К.

Як було показано вище, тривалість імпульсу лазерного випромінювання може досягати 10^{-10} секунди. Виходячи з цього, для вирішення завдання вимірювання тривалості імпульсу випромінювання застосований метод, оснований на порівнянні фотосигналів за амплітудою в залежності від зміщення на фотоприймачеві. У випадку використання у якості сенсора випромінювання фотодіода, потрібно враховувати, що час зростання його перехідної характеристики по рівню 0,1 – 0,9 [20, 21] – збільшення фотосигналу із часом у відповідь на освітлення, залежить від напруги, якою зміщується фотодіод. Чим більше ця напруга, тим швидше фотодіод входить у стан насичення фотоструму внаслідок його освітлення. З другого боку, лазерний імпульс має певну тривалість у часі. Тому якщо час зростання перехідної характеристики фотодіода більший за тривалість лазерного імпульсу, то фотодіод може не відслідкувати цей імпульс, або відслідкувати не у повній мірі.

Можливості такого підходу обмежені величиною пробивної напруги кожного конкретного фотоприймача. Для визначення тривалості імпульсу лазерного випромінювання на фотоприймач подається зміщення певної величини, яке періодично

збільшується до того часу, поки фотосигнал, генерований лазерним випромінюванням, не досягне свого максимуму. На рисунку 5 проілюстровано запропонований метод.

При освітленні радіометричної головки з одноелементним фотодіодом лазерним випромінюванням з певною тривалістю імпульсу, на фотодіоді ступнево змінюється робоча напруга U_p аж до величини, при якій час зростання фотодіоду досягає величини, при якій фотовідгук є максимальним ($U_p = 250$ В на рис. 4) Це означає, що час зростання фотодіода (τ) стає меншим за час зростання імпульсу лазерного випромінювання (t_l), при цьому спостерігається максимальне значення фотоструму. Збільшуючи далі робочу напругу на фотодіоді, можна дістати значення часу зростання таке, при якому лазерний імпульс буде не помітний – фотодіод спрацьовуватиме швидше, ніж триватиме лазерний імпульс. Таким чином можна визначати тривалість імпульсу лазера. На рис. 5 наведено імпульс лазерного випромінювання тривалістю 170 нс. Мінімальний час зростання фотодіоду при робочій напрузі 250 В складає згідно з рисунком 4 близько 25 нс.

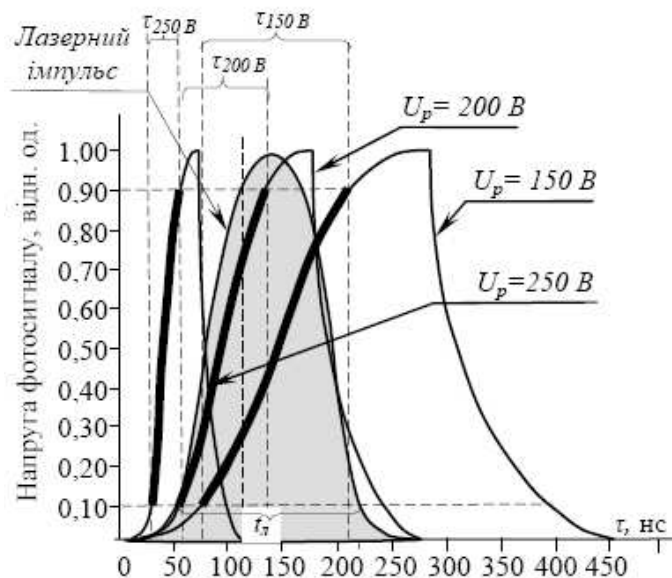


Рис. 5 - Залежність часу зростання перехідної характеристики фотодіоду τ від робочої напруги U_p та порівняння його з тривалістю лазерного імпульсу t_l . Жирним виділено фронт зростання τ по рівню 0,1-0,9

Недоліком такого методу вимірювання часу тривалості лазерного імпульсу є обмеження часу зростання перехідної характеристики фотодіоду, яке залежить від його пробивної напруги. Що, у свою чергу, обмежує можливість вимірювання тривалості імпульсу часом зростання фотодіода. В нашому випадку найкращий отриманий результат - це 25 нс для фотодіода на основі кремнію (спектральний діапазон 0,4 – 1,1 мкм).

Друга концептуальна схема.

В разі застосування інтегрованого підходу до конструкції вимірювача параметрів лазерного випромінювання, а саме – виготовлення його на базі радіометричної головки, попереднього підсилювача, осцилографа та комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням – конструкція приладу та процедура вимірювання може бути спрощена.

На рис. 6 наведений зовнішній вигляд запропонованого приладу без комп'ютера. Основні функції з обчислення та відображення параметрів лазерного випромінювання виконуються безпосередньо осцилографом типу Oscill [22] та його

програмним забезпеченням, яке є сумісним з операційною системою Windows XP, що може бути встановлена як на звичайний персональний комп'ютер, так і адоптована до кишенькового комп'ютера типу Pocketbook.

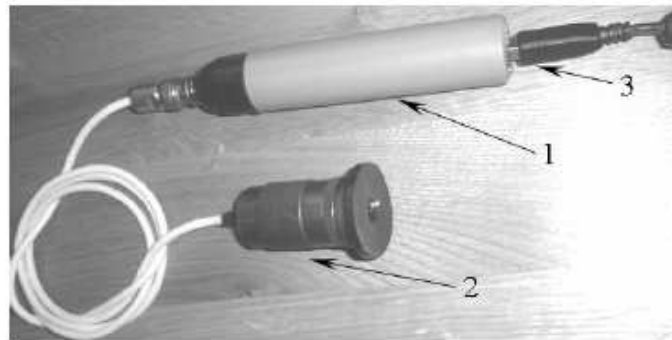


Рис. 6 - Зовнішній вигляд приладу для вимірювання параметрів лазерного випромінювання, виконаного за другою концептуальною схемою на базі цифрового комп'ютеризованого осцилографа Oscil.

1 - цифровий комп'ютеризований осцилограф типу Oscil; 2 – головка радіометрична;
3 – USB роз'єм для під'єднання до комп'ютера.

Існуючий макетний зразок приладу забезпечує вимірювання тривалості імпульсу лазерного випромінювання, його потужності, яка визначається за амплітудою сигналу, генерова-ного випромінюванням та енергетичні величини. Вирахування цих величин здійснюється додатковим програмним забезпеченням, яке є авторським і у пакет осцилографа типу Oscil не входить. На рис. 7а та 7б наведено виміряні значення різної тривалості імпульсу лазерного випромінювання (200 мс та 4 мс відповідно) та їх амплітуди (-2,5 В та -2,8 В відповідно).

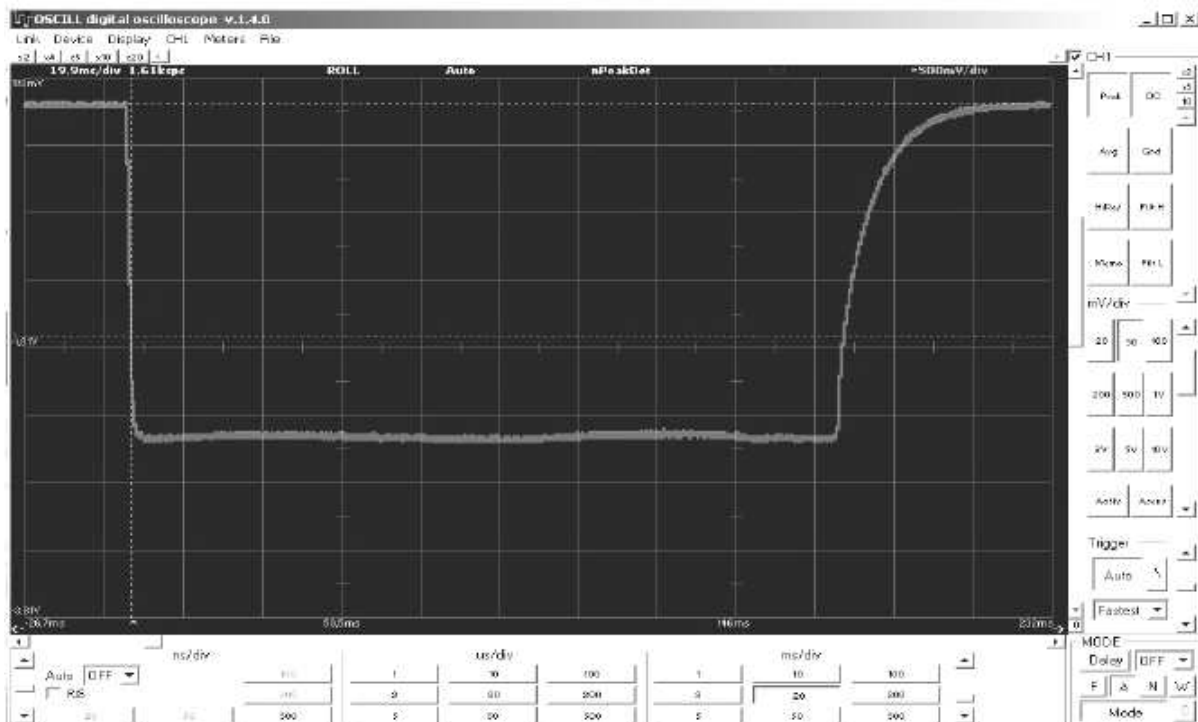


Рис. 7. а - Виміряні значення тривалості імпульсу (200 мс) лазерного випромінювання та його амплітуди (-2,5 В)

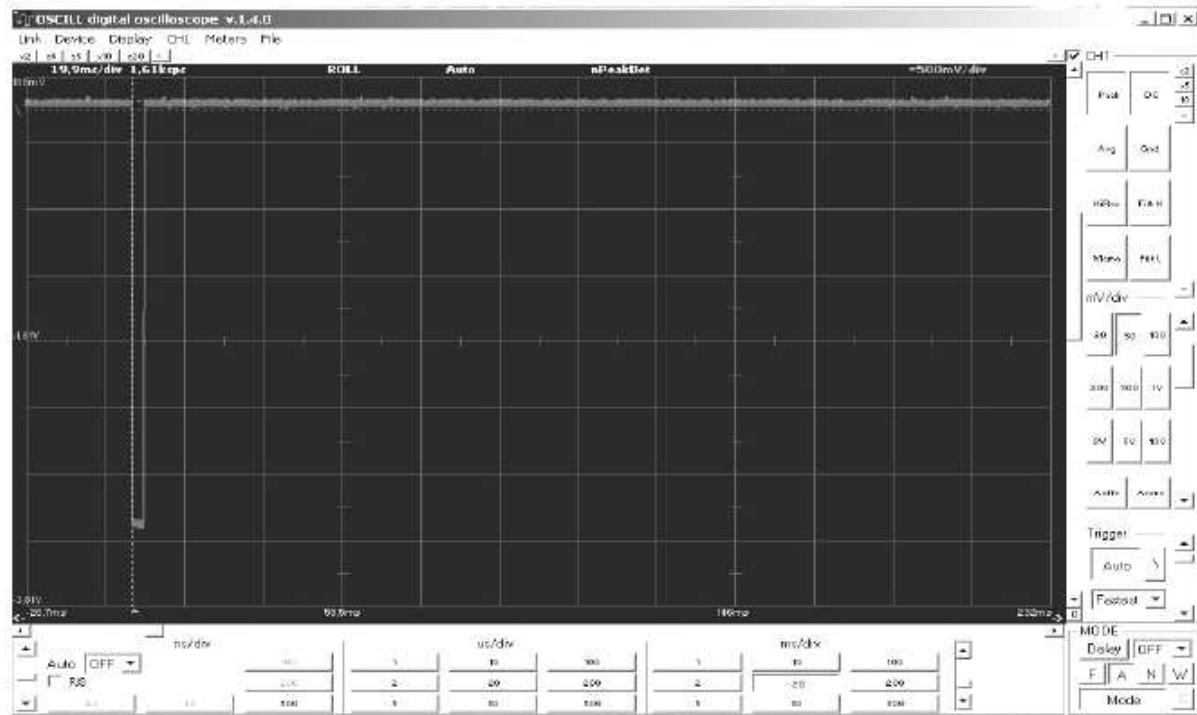


Рис. 7. 6 - Виміряні значення тривалості імпульсу (4 мс) лазерного випромінювання та його амплітуди (-2,8 В)

У досліді використаний твердотільний лазер з довжиною хвилі 0,63 мкм. Умови вимірювання наступні: по вісі абсцис вимірюється тривалість імпульсу (одне ділення по осі абсцис складає 19,9 мс), по осі ординат вимірюється амплітуда імпульсу лазерного випромінювання (одне ділення по осі ординат складає - 500 мВ). Виміряні значення напруги, за допомогою відповідного програмного забезпечення, перераховуються у потужність шляхом порівнянням з контрольним (робочим еталоном), покази якого записані у програмному забезпеченні мікроконтролера, який забезпечує роботу усього приладу. Параметри розгортки можуть бути змінені за допомогою інтерфейсу роботи з осцилографом. Зокрема вимірювання тривалості лазерного імпульсу за допомогою осцилографа Oscill та радіометричної головки на основі кремнієвого фотодіоду, може складати від 25 нс і більше при похибці 5 %. Мінімальне значення вимірюваної напруги складає 0,6 мВ при похибці 5 %.

Осцилографи типу Oscill можуть з'єднуватись з комп'ютером за допомогою двох портів – через відповідний кабель до USB-порту та за допомогою радіохвиль з портом Bluetooth. Решту параметрів осцилографа типу Oscill наведено у [22].

Використання двоканальної схеми обробки фотосигналу (рис. 1), або використання двох- та трьохспектральних фотоприймачів дозволяє отримати наступні параметри вимірювача параметрів лазерного випромінювання, розробленого на основі осцилографа типу Oscill:

- діапазон вимірювання довжин хвиль від 0,2 мкм до 1,8 мкм з головкою на основі трьохспектрального фотоприймача в умовах фонові засвітки;
- діапазон вимірювання довжин хвиль від 0,4 мкм до 1,1 мкм з головкою на основі двохспектрального фотоприймача в умовах фонові засвітки;
- діапазон вимірювання довжин хвиль від 0,2 до 15 мкм з головкою на основі неселективного приймача випромінювання в умовах фонові засвітки;

- діапазон вимірювання потужності лазерного випромінювання 0,03 - 300 мВт; діапазон вимірювання потужності лазерного випромінювання може бути розширений у кожному із запропонованих спектральних діапазонах;

- діапазон вимірювання енергетичної освітленості (опроміненості) в усіх спектральних діапазонах складає 10^{-3} - 10^3 Вт/м²;

- діапазон вимірювання енергетичної експозиції в усіх спектральних діапазонах складає від 1 Дж/м² до $1 \cdot 10^4$ Дж/м²;

- мінімальна вимірювальна тривалість лазерного імпульсу не менше 25 нс у спектральному діапазоні 0,4 - 1,1 мкм.

Попередня оцінка межі основної відносної припустимої похибки вимірювання потужності складає близько ± 18 %. При ретельному дослідженні складових зазначеної похибки її величина може бути знижена на етапі розробки серійного виробу.

Створені конструктивні концепції вимірювача параметрів лазерного випромінювання забезпечують вимірювання у повній відповідності до санітарно-гігієнічних вимог щодо охорони праці, діючих в Україні. Завдяки сучасному методичному забезпеченню та новітнім технічним рішенням створений вимірювач не поступається аналогам в Україні та СНД. Серед відомих сьогодні аналогів немає приладів, які мали б можливість виконувати вимірювання параметрів лазерного випромінювання в ультрафіолетовій області спектру, а також у діапазоні 0,8 – 1,8 мкм, в той час, коли у цих діапазонах працюють досить багато лазерів, в тому числі промислових. При цьому основні технічні та метрологічні показники нового приладу не поступатимуться кращим з відомих аналогів.

Висновки

1. Розроблено дві концептуальні конструкції портативного засобу вимірювальної техніки для контролю потужності, енергії, енергетичної освітленості (опроміненості), енергетичної експозиції, та тривалості лазерного випромінювання, в тому числі відбитого і розсіяного, на базі двоканальної схеми та на базі осцилографу типу Oscill, які відповідають вимогам сучасної нормативної документації щодо стану безпеки та гігієни праці виробничого середовища.

2. Запропоновано спосіб вимірювання тривалості імпульсу лазерного випромінювання за допомогою поступового збільшення робочої напруги на фотодіоді, який приймає зазначені імпульси.

3. Обидві конструкції приладу забезпечують вимірювання у діапазоні довжин хвиль від 0,2 до 15 мкм та діапазоні потужностей в усіх діапазонах від 0,03 до 300 мВт з межею основної припустимої похибки вимірювання не більше ± 18 %.

4. Запропоновані конструкції приладів можуть бути базовими при розробці серійних вітчизняних засобів вимірювальної техніки для вимірювання параметрів лазерного випромінювання.

Література

1 Санитарные правила и нормы устройства и эксплуатации лазеров : СанПин5804-91 - [чинний від 1991-01-02]. М.: Изд-во стандартов, 1991. –17 с. (Державний стандарт СРСР).

2 Паспортні дані на вимірювачі параметрів лазерного випромінювання ИЛД-2М, ЛДМ-2, ЛДМ-3, ЛДК, ЛДОК [електронний ресурс]. НДІОТ: - Режим доступу до паспортних даних на вимірювачі параметрів лазерного випромінювання ИЛД-2М, ЛДМ-2, ЛДМ-3, ЛДК, ЛДОК: <http://niiot.ru/doc/doc022/doc.htm>

3 Паспортні дані на вимірювач параметрів лазерного випромінювання ИМЛИ-2 [електронний ресурс]. ДП НЦ Інститут метрології: - Режим доступу до паспортних даних на вимірювач параметрів лазерного випромінювання ИМЛИ-2: http://www.metrology.kharkov.ua/rus/developments/di_applied.shtml

4 Паспортні дані на фотометр - радіометр «Кварц-01» [електронний ресурс]. ТДВ «Завод «Кварц»: - Режим доступу до паспортних даних на фотометр - радіометр «Кварц-01»: <http://www.quartz.cv.ua/products/product5.html>

5 Паспортні дані на дозиметр лазерного випромінювання ЛД-4 [електронний ресурс]. Група ОКТАВА - Електрондизайн : - Режим доступу до паспортних даних на дозиметр лазерного випромінювання ЛД-4: <http://www.gc-bars.ru/catalog/1706.htm>, <http://www.octava.info/?q=node/184>

6 Паспортні дані на вимірювач потужності лазерного випромінювання EW-41930-10 [електронний ресурс]. Coleparmer ltd.: - Режим доступу до паспортних даних на вимірювач потужності лазерного випромінювання EW-41930-10: <http://www.coleparmer.com/catalog/product/view.asp?sku=4193010>

7 Лазеры. Методы измерения максимальной мощности импульсного лазерного излучения : ГОСТ 25819-83. – [чинний від 1984-01-01]. М.: Изд. Стандартов, 1983 (2010). -11с. (Державний стандарт СРСР).

8 Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.А. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. -972 с (с.81-82).

9 Анатычук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии / Анатычук Л.И. М.: Украина, Черновцы МП `Букрек`, 2003. -376с.

10 Добровольский Ю.Г. Анизотропный приемник потоков теплового излучения на основе антимонида кадмия / Добровольский Ю.Г., Шабашкевич Б.Г. // ТКЭА. -2009. -№ 1. -С.31-33.

11 Ащеулов А.А. Термоелектричні модулі Пелте на основі кристалів твердих розчинів Ві-Те-Се-Sb / Ащеулов А.А., Горобець М.В., Добровольский Ю.Г., Романюк И.С. –Чернівці: Прут, 2011. -168с.

12 Бутенко В.К. Радиометр ультрафиолетового излучения «Тензор-31» / Бутенко В.К., Добровольский Ю.Г., Шабашкевич Б.Г., Юрьев В.Г. // ТКЭА. -2006. -№ 5. -С.43-45.

13 Патент України № 82843 Радиометр енергетичної освітленості ультрафіолетового діапазону. Бутенко В.К., Добровольський Ю.Г., Пироженко С.І., Шабашкевич Б.Г., Юр'єв В.Г. Заявка № 200500121 від 04.01.05. Бюл. № 10 26.05.08.

14 Перевертайло В.Л. Фотодиод ультрафиолетового диапазона на основе селенида цинка / Перевертайло В.Л., Добровольский Ю.Г., В.М. Попов, А.П. Поканевич, В.М. Мацкевич, Рыжиков В.Д., Шабашкевич Б.Г., Юрьев В.Г. // ТКЭА. -2010. -№ 2. –С.17-21.

15 Добровольський Ю.Г. Особливості конструкції та технології кремнієвих р-і-n фотодіодів / Добровольський Ю.Г., Ащеулов А.А. // Фізика і хімія твердого тіла. -2001. -Т.2. -№ 3. -С.441-447.

16 Рюхтин В.В. Особенности разработки термостабилизированных германиевых фотодиодов / Рюхтин В.В., Добровольский Ю.Г. // ТКЭА. –2004. -№ 6. –с.45-48.

17 Добровольский Ю.Г. Двухспектральный фотоприемник / Добровольский Ю.Г., Комаров Е.В., Биксей М.П. // ТКЭА. –2005. -№ 3. –С.18-22.

18 Раренко И.М. Трехспектральный фотоприемник / Раренко И.М., Добровольский Ю.Г., Биксей М.П. // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. -2007. -№ 3. -С.19-23.

19 Добровольский Ю.Г. Кремниевый термостатированный р-і-n фотодіод / Добровольский Ю.Г. // ТКЭА. –2006. -№ 4. –с.39-41.

20 Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Термины и определения : ГОСТ21934-83. – [чинний від 1984-01-01]. М.: Изд. Стандартов, 1985. –86с. (Державний стандарт СРСР).

21 Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик : ГОСТ17772-88. – [чинний від 1988-01-07]. М.: Изд-во Стандартов, 1988. –158с. (Державний стандарт СРСР)/

22 Паспортні дані на осцилограф типу Oscill [електронний ресурс]. Oscill Co.: – Режим доступу до паспортних даних на осцилограф типу Oscill: <http://www.oscill.com>

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА Ю. Г. Добровольский

Разработаны две концептуальные конструкции портативного средства измерительной техники для контроля мощности, энергии, энергетической освещенности, энергетической экспозиции, и длительности импульса лазерного излучения, в том числе отраженного и рассеянного, в диапазоне длин волн от 0,2 до 15 мкм и диапазоне мощностей от 0,03 до 300 мВт с границей основной допустимой погрешности измерения не больше $\pm 18\%$.

CONCEPTUAL GOING NEAR CREATION OF MEASURING DEVICE OF
PARAMETERS OF LASER RADIATION FOR HYGIENICALLY ESTIMATION OF
TERMS OF LABOUR

Yu. G. Dobrovolsky

Two conceptions of structural portable mean of measuring technique are developed for control of power, energy, power luminosity, power display, and duration of laser radiation, including number of removed and dissipated, in the range of wave-lengths with 0,2 to 15 mkm and range of power with 0,03 to 300 mW with the border of basic permissible error of measuring no more $\pm 18\%$.