



УДК 681.7.068.4.089.6

**В.М. Балабан,**  
**Л.В. Грищенко,**  
**А.І. Расчектаєва,**  
**Є.П. Тимофєєв,** канд. техн. наук  
*Національний науковий центр "Інститут метрології"*

## **ПІДСУМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНА ОДИНИЦІ ПОТУЖНОСТІ СЛАБКІХ ІМПУЛЬСНИХ СВІЛОВИХ ПОТОКІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

### **Вступ**

У рамках Державної програми розвитку еталонної бази України на 2006 - 2010 р. в ННЦ "Інститут метрології" було виконано роботу "Удосконалення державного еталона одиниці потужності слабких імпульсних світлових потоків випромінювання від  $1 \cdot 10^6$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт в діапазоні довжин хвиль від 0,4 до 1,6 мкм". Цей еталон було розроблено та створено у період з 1992 р. по 1995 р. в Харківському державному науково-дослідному інституті метрології [1]. З моменту створення еталона минуло 10 років, метрологічні характеристики еталона не стали відповідати сучасному рівню, внаслідок чого виникла необхідність удосконалення еталона.

В Україні, як і у світі, активно розвивається такий напрям науки і техніки як волоконна оптика та волоконно-оптичні технології. Волоконно-оптичні системи передавання інформації (ВОСП) забезпечують передавання інформації з найбільшою швидкістю на значні відстані. У свою чергу стає актуальним метрологічне забезпечення ВОСП [2].

Національний еталон України у галузі метрологічного забезпечення оптичних вимірювань параметрів волокна та ВОСП (потужності оптичного випромінювання та довжини оптичного волокна) не відповідає сучасним вимогам, оскільки за час з моменту створення еталону з'явилося багато нових засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), відбулося значне поліпшення метрологічних характеристик робочих ЗВТ в цій галузі. Отже, для сучасного метрологічного забезпечення робочих ЗВТ виникла необхідність удосконалення відповідного Державного еталона і розробки Державної повірочної схеми для засобів вимірювань потужності світлового імпульсного та неперервного оптичного випромінювання малих рівнів, довжини та часу розповсюдження випромінювання у світловоді [3].

Метою удосконалення еталона було забезпечення на сучасному рівні єдності і вірогідності вимірювань енергетичних параметрів випромінювання та розширення його функцій на нові типи ЗВТ, у т.ч. для ВОСП.

Основними завданнями удосконалення еталона було, по-перше, підвищення метрологічних характеристик, розширення динамічного діапазону для відтворення, зберігання та передачі одиниці потужності неперервного випромінювання у світловоді від  $1 \cdot 10^{-9}$  Вт до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт в діапазоні довжин хвиль від 0,4 до 1,6 мкм для створення системи метрологічного забезпечення вимірювань потужності неперервного випромінювання у світловоді на сучасному рівні. По-друге, розширення його функцій, а саме оснащення державного еталона апаратурою для відтворення, зберігання та передавання одиниці часу розповсюдження випромінювання у світловоді.

Зазначений еталон є найвищою ланкою державної повірочної схеми для даних видів вимірювань [4].

Виконану роботу було спрямовано на створення оптимальної системи забезпечення єдності оптико-фізичних вимірювань у галузі вимірювання середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді.

#### Основна частина

У зв'язку з розширенням функцій назву Державного еталона змінено на Державний первинний еталон одиниць середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді. Удосконалений еталон призначений для відтворення і зберігання одиниць середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді, а також для передачі розміру одиниць робочим еталонам і безпосередньо робочим засобам вимірювальної техніки, які застосовуються в Україні, з метою забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань у галузях волоконно-оптичних телекомунікацій, оборонної промисловості, наукових досліджень, оптичної локації, далекометрії та ін.

В удосконаленому державному еталоні поєднано функції зберігання, відтворювання та передачі одиниць трьох фізичних величин: середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді. Фактично комплекс державного первинного еталона при цьому поєднує у собі три еталони. Такий вибір побудови державного еталона (комбінований еталон) є найбільш доцільним [5].

Основні метрологічні характеристики еталона:

Діапазони значень одиниць фізичних величин, які відтворюються еталоном, становлять: від  $1,5 \cdot 10^{-8}$  с до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  с – для часу розповсюдження випромінювання у світловоді на фіксованих довжинах хвиль у діапазоні довжин хвиль від 0,8 мкм до 1,7 мкм;

від  $1 \cdot 10^{-9}$  Вт до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт – для середньої потужності неперервного випромінювання у світловоді на фіксованих довжинах хвиль у діапазоні довжин хвиль від 0,8 мкм до 1,7 мкм;

від  $1 \cdot 10^{-6}$  Вт до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт – для середньої потужності в імпульсі випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,4 мкм до 1,6 мкм; діапазон тривалості імпульсу – від  $5 \cdot 10^{-8}$  с до  $2 \cdot 10^{-7}$  с, діапазон частот проходження – від 100 Гц до 5 МГц.

Державний первинний еталон забезпечує відтворення одиниці:

- часу розповсюдження випромінювання у світловоді на фіксованих довжинах хвиль з середнім квадратичним відхиленням (далі – СКВ) результату вимірювання  $S_T$ , яке не перевищує  $(1 \cdot 10^{-11} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot T)$  с при 10 незалежних спостереженнях. Невилучена систематична похибка (далі – НСП)  $\Theta_T$  становить  $(2 \cdot 10^{-11} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot T)$  с;

- середньої потужності неперервного випромінювання у світловоді з СКВ результату вимірювання  $S_{Pv}$ , яке не перевищує  $1 \cdot 10^{-2}$  при 10 незалежних спостереженнях. НСП  $\Theta_{Pv}$  відтворення одиниці середньої потужності неперервного випромінювання в світловоді не перевищує  $1,2 \cdot 10^{-2}$ ;

- середньої потужності в імпульсі з СКВ результату вимірювання  $S_{Pv}$ , яке не перевищує  $2 \cdot 10^{-2}$  при 10 незалежних спостереженнях. НСП  $\Theta_{Pv}$ , відтворення одиниці середньої потужності в імпульсі не перевищує  $5 \cdot 10^{-2}$ .

При виконанні робіт з удосконалення еталона розроблено проект державного стандарту України "Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань потужності імпульсного та неперервного оптичного випромінювання малих рівнів, довжини та часу розповсюдження випромінювання у світловоді" [4].

Аналіз напрямків та перспектив розробки високоточних вимірювачів середньої потужності неперервного випромінювання у світловоді та вимірювачів часу розповсюдження випромінювання у світловоді показав, що найбільш доцільним є створення державного еталона, що базується на еталонному первинному вимірювальному фотоперетворювачі випромінювання та на точному вимірюванні частоти та часових інтервалів [6, 7].

Відтворення одиниці потужності неперервних світлових потоків випромінювання у світловоді, джерелом якого є стабілізований лазер, засновано на вимірюванні потужності випромінювання за допомогою еталонного первинного вимірювального перетворювача. До складу еталону введено два еталонні вимірювачі середньої потужності оптичного випромінювання. Перший еталонний вимірювач призначений для роботи в спектральному діапазоні від 400 нм до 1100 нм і заснований на «трап» детекторі на базі трьох фотодіодів S 1337 [8]. Другий еталонний вимірювач призначений для вимірювання потужності оптичного випромінювання, що розповсюджується в оптичному волокні в інфрачервоному (ІЧ) спектральному діапазоні на довжинах хвиль від 900 нм до 1600 нм.

Відтворення часу розповсюдження випромінювання у світловоді засновано на формуванні із неперервного лазерного випромінювання імпульсів, тривалість яких залежить від довжини еталонної міри часу розповсюдження випромінювання у світловоді та вимірюванні частоти цих імпульсів за допомогою високоточного частотоміра.

Для послаблення або повного виключення впливу нестабільності лазера, що використовується у комбінованому еталоні, під час передачі розміру одиниці потужності випромінювання використовується фотоприймач–“свідок” для контролю відносного рівня потужності.

Метрологічні характеристики удосконаленого еталона знаходяться на рівні характеристик сучасних еталонів розвинених країн: США, Німеччини, Великобританії, Швеції, Швейцарії, Росії.

З впровадженням зазначеного державного первинного еталона у систему метрологічного забезпечення оптико-фізичних вимірювань у галузі ВОСП в Україні в першу чергу вирішується задача забезпечення єдності і вірогідності вимірювань у цій галузі, яка відкриває можливість вирішення цілого ряду науково-технічних, техніко-економічних, а також соціальних проблем.

Удосконалення еталона та впровадження повірочної схеми, де враховано потреби економіки, у тому числі й перспективні, буде стимулом для створення та організації виробництва в Україні вітчизняних засобів вимірювання для забезпечення як промислової, так і інших галузей науки, економіки, оборони. Україна має значний науковий та виробничий потенціал, щоб реалізувати це завдання. Воно є актуальним, оскільки те обладнання, що використовується у теперішній час, є імпортного виробництва, а в Україні нове майже не випускається. Удосконалення і впровадження еталона дозволить достовірно визначати метрологічні характеристики нових засобів вимірювальної техніки.

### Висновки

Створений еталон повністю задовольняє потребам України по забезпеченню єдності і вірогідності оптико-фізичних вимірювань у галузі вимірювань середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді на теперішньому етапі та на близьку перспективу.

Для повної реалізації можливостей еталона та повірочної схеми доцільно рекомендувати наступне:

- виконати розробки та організувати виробництво нових вітчизняних засобів вимірювань потужності неперервного випромінювання у світловоді;

- виконати розробку та оснащення метрологічних організацій сучасними еталонними засобами вимірювання.

Дослідження еталона, а також практичне застосування аналогічних комплексів в інших країнах визначили напрямки подальшого удосконалення еталона, а також допоміжних засобів вимірювання.

Головним напрямком такого виду робіт повинно бути проведення доскональних теоретичних та експериментальних досліджень по уточненню складових похибок еталона і підвищенню надійності метрологічних характеристик. Необхідне проведення міжнародних звірень для уточнення значення невилученої систематичної похибки.

Другим суттєвим напрямком удосконалення еталона є підвищення ступеню автоматизації. Це завдання вирішується шляхом повного сполучення основної та допоміжної апаратури з ПЕОМ і розробкою комплексного програмно-математичного забезпечення.

Третім напрямком робіт з удосконалення еталона є підвищення ефективності робіт за рахунок поліпшення його експлуатаційних характеристик. Це може бути досягнуто шляхом зменшення часу вимірювань та збільшення ресурсів систем. Для цього необхідно впровадження нових, досконаліших технологій та матеріалів.

Перспективним шляхом подальшого удосконалення еталона є розробка і застосування нових еталонних первинних вимірювальних перетворювачів на основі калориметричних перетворювачів, обладнаних волоконно-оптичним вводом випромінювання і системою електричного калібрування, з високим коефіцієнтом перетворення, що дозволить підвищити точність вимірювань.

### Список літератури

1. ДСТУ 3387–96 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань потужності слабких імпульсних світлових потоків випромінювання від  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт в діапазоні довжин хвиль від 0,4 до 1,6 мкм. – Київ: Держстандарт України, 1996. – 5 с.
2. Мачехин Ю. П., Расчектаева А.И., “Основные проблемы метрологического обеспечения волоконно-оптических линий связи” //2-а Міжнародна міждисциплінарна науково-практична конференція "Сучасні проблеми науки та освіти", Праці II Міжнар. міждисцип. наук.-прак. конф. у 2-х ч. Ч. 1. – Харків, 2001. – С. 40–41.
3. Расчектаева А.И., “Обеспечение единства измерений мощности и времени распространения оптического излучения в волоконно-оптических системах” //Український метрологічний журнал. – 2008. – № 4, – С. 43–48.
4. ДСТУ 3387 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань потужності імпульсного та неперервного оптичного випромінювання малих рівнів, довжини та часу розповсюдження випромінювання у світловоді. –Держстандарт України, 2009. – 8 с.
5. Расчектаева А.И., Л.В. Грищенко, Д.Н. Татьяна, Е.П. Тимофеев, “Модернизация государственного первичного эталона единицы мощности слабых импульсных световых потоков излучения” //VI-я Международная научно-техническая конференция "Метрологія та Вимірювальна Техніка ", Праці VI Міжнар. наук.-техн. конф. у 2-х т. Т. 2. –Харків: ННЦ „Институт метрологии”, 2008. – С. 9–12.
6. Мачехин Ю.П., Тимофеев Е.П., Расчектаева А.И., Татьяна Д.Н. “Оптические измерения в волоконно-оптических системах передачи информации. Принципы и задачи развития” //Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – № 2, – С. 45–52.
7. Мачехин Ю.П., Расчектаева А.И., “Метод точного измерения длины оптического волокна и его реализация” //Український метрологічний журнал. – 2007. – № 3, – С. 35–38.
8. Zalewski E.F., Duda C.R. “Silicon photodiode device with 100 % external quantum efficiency” // Appl. Opt. – 1983. – Vol. 22. – №18. – P. 2867–2873.

ИТОГИ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА  
ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ СЛАБЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ  
ИЗЛУЧЕНИЯ

В.М.Балабан, Л.В.Грищенко, А.И. Расчеткаева, Е.П. Тимофеев

*Подведены итоги выполнения работ по модернизации государственного первичного эталона единицы мощности слабых импульсных световых потоков излучения.*

THE RESULTS OF MODERNIZATION OF THE STATE INITIAL STANDARD  
OF AN ESTIMATION OF CAPACITY OF WEAK PULSES OF LIGHT STREAMS OF  
RADIATION

V.M. Balaban, L.V. Grishchenko, A.I. Raschetkaeva, E.P. Timofeev

*Results of conducted work of modernization of the State primary standard of unit of power of weak fluxes of pulse optical radiation are brought.*