

- Physics E: Science Instrumentation*. — 1987. — Vol. 20. — P. 1368–1373. 12. Bentley R.E. *Thermoelectric Hysteresis in Nickel-based Thermocouple Alloys*// *J. Physics D: Applied Physics*. — 1989. — Vol. 22. — P. 1902–1907. 13. Burley N.A. *Nicrosil / Nisil type N Thermocouple* // *J. Measurements&Control*. — April 1989. — P. 130–133. 14. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др. *Температурные измерения: Справочник*. — К.: Наукова думка, 1989. 15. Каржавин А.В., Коломбет С.В., Улановский А.А. *Новые методы и средства поверки термоэлектрических термометров в диапазоне температур 300–1100°C*// *Сб. докладов 1-й Всероссийской конференции «Температура-2001»*. — Подольск, 13–15 ноября 2001 г. 16. Белевцев А., Богатов В., Каржавин А., Петров Д., Улановский А. *Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие* // *Журнал «Современные технологии автоматизации»*, 2/2004. — С. 66. 17. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудаевский Ю.К., Стадник Б.І. *Енциклопедія термометрії*. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. — 428 с. 18. Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. *Вимірювання температури: теорія та практика*. — Львів: Бескид Біт, 2006. — 560 с. 19. Maissner W., Kehler M. *Handbuch der Experimentalphysik*. — Zeipzig.: Akad. Verlag, 1935. — Bd. 11. — Teil 2. — S. 3111. 20. Сирота Н.Н., Петрашко В.В., Семененко Ю.А., *Влияние сильного магнитного поля на термо-э.д.с. хромель-копелевой термопары* // *Приборы и техника эксперимента*. — 1980. — №1. — С. 273–274. 21. Алферов В.И., Бушмин А.С. *Экспериментальное исследование влияния электростатического поля на показание термопары* // *Инженерно-физический журнал*. — 1964. — Е. 7. — № 6. — С. 135–136.

УДК 681.7.068

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СВІТЛОВОДА ТИПУ КВАРЦ-ГЛІЦЕРИН ( $\text{SiO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ )

© Володимир Яремчук, Наталія Кравчук, Сергій Смішний, 2009

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, кафедра фізики,  
вул. Острозького, 32, 21001, Вінниця, Україна

*Виконано експериментальні дослідження залежності світлових втрат у волоконному світловоді типу кварц-гліцерин ( $\text{SiO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) від температури. Отримані результати дають змогу запропонувати конструкцію волоконно-оптичного перетворювача температури на основі цього світловода, в якому поєднуються одночасно два ефекти: об'ємне теплове розширення та зміна показника заломлення. Розглянуто питання узгодження волоконно-оптичних сенсорів з мікропроцесором.*

*Проведены экспериментальные исследования зависимости световых потерь в волоконном световоде типа кварц-глицерин ( $\text{SiO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) от температуры. Полученные результаты дают возможность предложить конструкцию волоконно-оптического преобразователя температуры на основе этого световода, в котором объединяются одновременно два эффекта: объемное тепловое расширение и изменение показателя преломления. Рассмотрен вопрос согласования волоконно-оптических сенсоров с микропроцессором.*

*Experimental researches about dependence of light losses are conducted in fibre lightguide of type quartz-glycerin ( $\text{SiO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) from a temperature. This results give enable to offer the construction of fibre-optical transformer of temperature on the basis of this lightguide, two effects are combined in which simultaneously: by volume thermal expansion and change of index of refraction. The question of concordance of fibre optical sensors is considered with a microprocessor.*

**Постановка проблеми.** Показати, що на основі світловода типу кварц-гліцерин можна створити когерентний волоконно-оптичний давач параметрів навколишнього середовища, зокрема температури, в якому поєднуються одночасно два ефекти: об'ємне теплове розширення та зміна показника заломлення. Роз-

глянути питання узгодження волоконно-оптичних сенсорів з мікропроцесором.

**Вирішення проблеми.** Основною частиною будь-якого волоконно-оптичного давача є волокно. Як відомо, інформативним для вимірюваної величини

може бути один з параметрів: амплітуда, фаза, частота оптичного випромінювання, і ця ознака є істотною для класифікації давачів. При проектуванні та розробленні ВОД основним питанням є раціональний вибір відповідного фізичного ефекту, пов'язаного з тими чи іншими фізичними властивостями матеріалу світловода, а також його будовою. Питання обробки вихідного сигналу і перетворення його в зручний для подальшого використання вигляд має істотне значення, а в деяких випадках стає головною проблемою при їх практичному використанні [1, 2].

До переваг ВОД можна зарахувати їх простоту, надійність, зручність використання, стійкість роботи в різних умовах та середовищі, завдяки чому ВОД успішно використовують практично в усіх галузях промисловості [3].

Будова та принцип роботи ВОД залежить від того, який параметр середовища ми хочемо вимірювати, і в якому вигляді отримати вихідний сигнал. Так, для вимірювання температури можна використати цілий ряд ефектів [4].

Одним з таких ефектів є теплове розширення тіла, що призводить до зміни показника заломлення. Поєднання цих ефектів дасть істотне підвищення чутливості ВОД, що приведе до підвищення точності вимірювання температури. Промислові світловоди являють собою систему кварц-полімер [4].

Для нашого ВОД було використано світловод типу кварц-гліцерин ( $\text{SiO}_2\text{-C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ). Оболонкою у світловоді слугує гліцерин, серцевиною – кварц. При нагріванні гліцерин змінює свою густину, тобто відбувається теплове розширення тіла. При зміні густини будь-якого оптичного тіла змінюється його показник заломлення. Серцевиною є кристалічний кварц ( $\text{SiO}_2$ ), у яко-

го показник заломлення  $n_c = 1,5428$  (при  $\lambda = 627,82$  нм) залишається сталим при його нагріванні від 0 до 150 °С, температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\beta = 13,24 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ . При зміні температури змінюється різниця між показником заломлення серцевини  $n_c$  та оболонки  $n_o$ , відповідно змінюється інтенсивність світлового потоку, який переходить із серцевини в оболонку. В результаті, залежно від температури  $t$ , змінюється інтенсивність світлового потоку на виході світловода. Оскільки термочутливий елемент – оболонка (гліцерин) покриває всю площу серцевини (кварц), а також оскільки гліцерин має великий тепловий коефіцієнт розширення ( $\beta = 0,505 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$  при 20 °С), то чутливість такого ВОД має бути високою.

Для обґрунтування нашої конструкції ВОД було виконано експериментальні дослідження такого світловода – кварц-гліцерин. На рис. 1 показано будову світловода та блок-схему досліджуваної установки: 1 – джерело випромінювання (газовий лазер ЛГ-209) з довжиною хвилі  $\lambda = 630$  нм; 2 – оболонка (гліцерин); 3 – серцевина ( $\text{SiO}_2$ ,  $l=0,24$  м,  $\varnothing=5,5$  мм); 4 – нагрівач (нікелева дротина); 5 – фотоприймач (ФД-10ГА); 6 – вольтметр універсальний В7-21А; 7 – термопара типу мідь-константан; 8 – блок живлення; 9 – вольтметр універсальний В7-21А; 10 – зовнішня кювета (корпус).

Результати досліджень наведено в табл. 1.

На рис. 2 подано залежність фото-ЕРС вихідного сигналу від температури  $U_{\text{фс}}(t)$ .

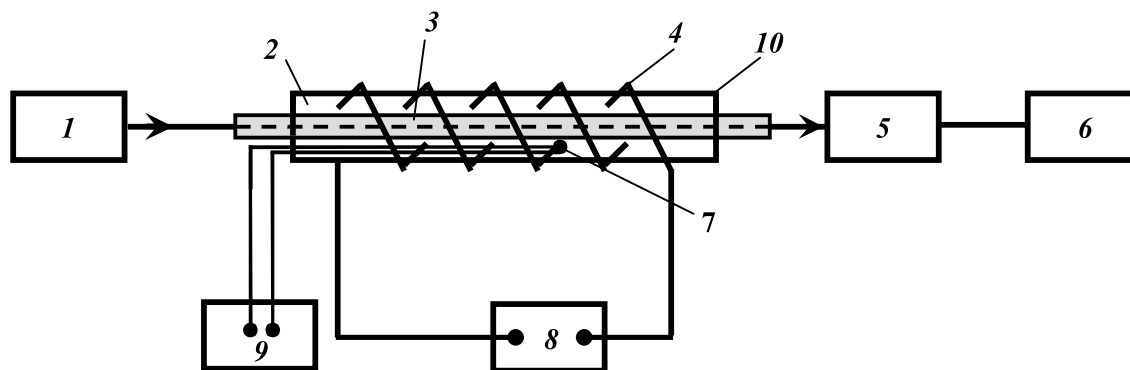


Рис. 1. Блок-схема устави дослідження залежності світлових втрат у волоконному світловоді (ВС) типу кварц-гліцерин від температури

Таблиця 1

| Температура ВС<br>(всередині кювети) | Напруга<br>фотоелемента<br>(ФД-10ГА) | Температура ВС<br>(всередині кювети) | Напруга<br>фотоелемента<br>(ФД-10ГА) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $t_{BC}, ^\circ C$                   | $U_{фе}, мВ$                         | $t_{BC}, ^\circ C$                   | $U_{фе}, мВ$                         |
| 19,7                                 | 8,85                                 | 57,3                                 | 9,50                                 |
| 21,0                                 | 8,98                                 | 59,1                                 | 9,64                                 |
| 22,2                                 | 9,12                                 | 60,4                                 | 9,71                                 |
| 24,5                                 | 9,20                                 | 62,6                                 | 9,80                                 |
| 28,0                                 | 9,25                                 | 65,4                                 | 9,87                                 |
| 31,6                                 | 9,28                                 | 68,1                                 | 9,95                                 |
| 37,2                                 | 9,30                                 | 69,0                                 | 9,98                                 |
| 42,8                                 | 9,33                                 | 69,7                                 | 10,0                                 |
| 45,7                                 | 9,35                                 | 72,2                                 | 10,05                                |
| 48,5                                 | 9,37                                 | 74,6                                 | 10,08                                |
| 54,2                                 | 9,41                                 | 79,4                                 | 10,14                                |

Похибка вимірювань температури  $\pm 0,1 ^\circ C$ .

Похибка вимірювань фото-ЕРС  $\pm 0,01 мВ$ .

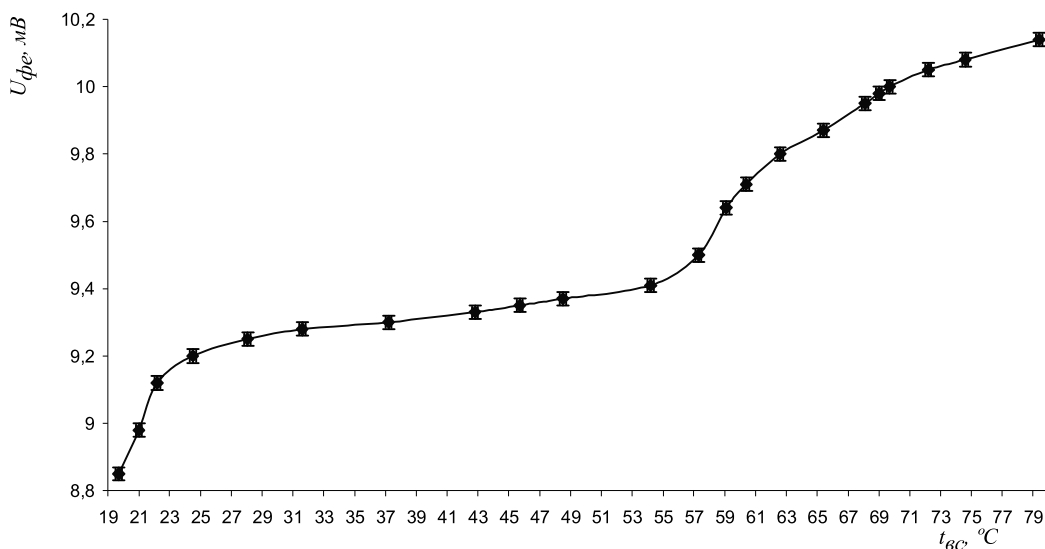


Рис. 2. Графік залежності  $U_{фе}$  від температури у ВС типу кварц-гліцерин (при  $\lambda = 630 нм$ )

Як видно з графіка, з підвищенням температури напруга фотоелемента зростає.

Оскільки гліцерин ( $CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2OH$ ) (табл. 2) термічно нестабільний, при тривалому нагріванні (навіть до  $90-130 ^\circ C$ ) розкладається з утворенням акролеїну й ацетону; температура плавлення –  $17,9 ^\circ C$ ; температура кипіння –  $290 ^\circ C$ ; то діапазон вимірювання температури цього ВОД –  $t_{BC} \in (18; 89) ^\circ C$ . Початкова температура дослідів становила  $t_{поч} = 19,7 ^\circ C$ , кінцева –  $t_{кінц} = 79,4 ^\circ C$ .

Таблиця 2

**Фізико-хімічні показники гліцерину  
марки ПК-94 (ГОСТ 6824-96)**

|   |  |         |
|---|--|---------|
| 1 | Відносна густина $d$ при $20 ^\circ C$ відносно води | 1,244   |
| 2 | Густина $\rho$ при $20 ^\circ C$ , $г/см^3$          | 1,2481  |
| 3 | Показник заломлення $n$ при $25 ^\circ C$            | 1,47352 |

Експериментально було показано, що на основі світловода типу кварц-гліцерин можна створити коге-

рентний ВОД параметрів навколишнього середовища, зокрема температури. Діапазон вимірювання температури цього ВОД лежить у межах від  $t_1 = 19^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 79^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{ВОД}} \in (19; 79)^\circ\text{C}$ ), чутливість такого давача  $0,020 \text{ дБ}/^\circ\text{C}$ , точність становить  $10^{-1}^\circ\text{C}$ .

Одним з найактуальніших питань залишається питання узгодження ВОД з мікропроцесором або ЕОМ. Справді, вихідними величинами таких давачів є: інтенсивність вихідного сигналу або фаза світлової хвилі. Тому виникає необхідність перетворити ці параметри на сприятливі для мікропроцесора або ЕОМ, тобто частотно-модульовані, які б мали вигляд, зручний для цифрової обробки. В основу такого пристрою покладено комбінований БІЗПН (бізмичений перехід з інжекційною нестійкістю) – фотоприймач, який складається з двох БІЗПН – структур, однією з яких є фотоприймач, а другою – генератор, причому він ізольований від світлового потоку (рис. 3) [5].

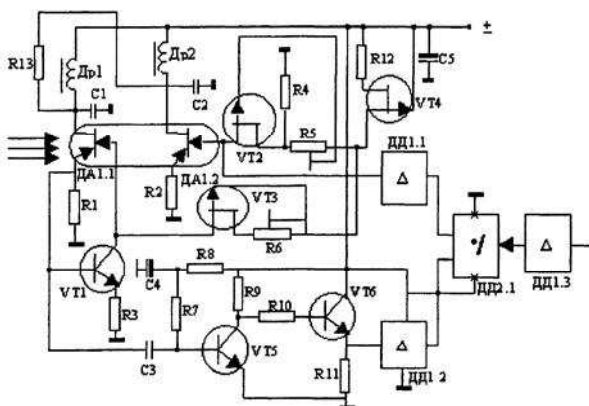


Рис. 3. Фотоприймальний пристрій

У результаті освітлення БІЗПН – частота фотоприймача  $f$  буде рости пропорційно до інтенсивності світлового потоку, а частота генератора залишається незмінною. Але оскільки температура впливає на обидва БІЗПН, то на виході частота буде пропорційна лише до інтенсивності світлового потоку. На виході такого пристрою розміщені елементи збігу ДД1.1, ДД1.2., тому вихідний сигнал являє собою пакки імпульсів з частотою слідування  $f_2$ , тобто такий сигнал легко перетворюється на цифровий код [5].

Як відомо, коефіцієнт перестроювання для БІЗПН становить  $10^4$ . Враховуючи, що  $f_{\text{min}} = 50 \text{ Гц}$ ,  $f_{\text{max}} = 2 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ ,  $\Delta f \approx 2 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ , то при частоті нестабільності  $\Delta f_{\text{нест}} = 10^{-3} \text{ Гц}$  чутливість становитиме  $33 \cdot 10^3 \text{ Гц}/^\circ\text{C}$ , що забезпечить точність вимірювання температури до  $0,001^\circ\text{C}$ .

**Висновок.** Експериментально було показано, що на основі світловода типу кварц-гліцерин можна створити когерентний ВОД параметрів навколишнього середовища, зокрема температури. Діапазон вимірювання температури цього ВОД лежить у межах від  $t_1 = 19^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 79^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{ВОД}} \in (19; 79)^\circ\text{C}$ ). Такі ВОД мають високу термочутливість, а при використанні частотних перетворювачів інтенсивності світлового сигналу мають чутливість близько  $33 \cdot 10^3 \text{ Гц}/^\circ\text{C}$ , що забезпечує точність вимірювання температури до  $0,001^\circ\text{C}$ .

1. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Яремчук В.Ф., Смішний С.М. Фізичні основи волоконно-оптичних давачів // *Optoelectronic information – power technologies / Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.* – № 2(14), 2007. – С. 243–249. 2. Бусурин В.И., Семенов А.С., Удалов Н.П. Оптические и волоконно-оптические датчики // *Квант. электрон.* – 1985. – 12, № 5. – С. 11 – 44. 3. Смішний С. М. Фізичні основи волоконно-оптичних давачів // *Фізика. Нові технології навчання* // *Збірник наукових праць студентів і молодих науковців.* – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – Вип. 5. – С. 7–10. 4. Андрушко Л. М., Вознесенский В. А., Каток В. Б. и др. *Волоконные оптические линии связи.* – К., 1988. 5. Смішний С. М. Фізичні основи первинних вимірювальних перетворювачів на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку // *Актуальні проблеми виробничих та інформаційних технологій, економіки і фундаментальних наук: Зб. наук. праць.* – Вінниця: Видавництво-друкарня „Діло”, СПД Данилюк В.Г., 2007. – Вип. 4. – С. 175–176.