

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри

" " грудень 2024 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

" Модуль дистанційного моніторингу температури нафтових свердловин "

Виконав: студент II курсу маг., групи АКІТ

Петраченко О.Є.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник:

ст. викл. Чичура І.І.

(вчене звання, ПІБ, посада)

(підпис)

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз технічних вимог до об'єкта проектування	8
2 Огляд і аналіз літератури та аналогів об'єкту проектування	9
2.1 Волоконно-оптичні датчики температури з амплітудною модуляцією світла	9
2.1.1 Датчики, що використовують температурну залежність коефіцієнта поглинання матеріалу	9
2.1.2 Точкові волоконно-оптичні датчики температури з активним елементом з кремнію	16
2.1.3 Волоконно-оптичний датчик з активним елементом з тонкої плівки германію	18
2.1.4 Оптичний датчик температури на основі аморфної плівки SiC	23
2.2 Аналоги об'єкту проектування	27
3 Проектно-конструкторський розділ	30
3.1 Розробка ПВП волоконно-оптичного датчика термометри	30
3.1.1 Оптична схема волоконно-оптичного датчика термометри	30
3.1.2 Опис джерела випромінювання	31
3.1.3 Опис параметрів оптичних волокон	32
3.1.4 Опис характеристик термочутливого елемента	32
3.1.5 Опис характеристик приймача випромінювання	35
3.2 Розрахунок порогової характеристики волоконно-оптичного вимірювача температури	37
3.2.1. Розрахунок світової енергії, що попадає на площадку приймача	37
3.2.2 Розрахунок струму фотоприймача	40
3.2.3 Спрощений розрахунок струму фотодіода	43

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ			
Вим,	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Модуль дистанційного моніторингу температури нафтових свердловин Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Петраченко О.Є					У	5	85
Перевірив	Чичура І.І.							
Н. Контр.	Гютюнников							
Затвердив	Чичура І.І.					УжНУ, ІТФ, курс 2м, спец. АКІТ		



3.3 Розробка схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури	45
3.3.1 Розробка структурної схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури	45
3.3.2 Розробка принципової електричної схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури	47
3.4 Розробка схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури	49
3.4.1 Розробка структурної схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури	49
3.4.2 Розробка електричної принципової схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури	50
4 Технологічний розділ	65
4.1 Огляд конструкцій корпусів сучасних вимірювачів	65
4.2 Загальні вимоги до конструкції корпусу	69
4.2.1 Визначення товщини стінок корпусу	73
4.2.2 Призначення технологічних уклонів та ребер жорсткості	74
4.2.3 Визначення радіусів закруглень корпусу	75
4.2.4 Визначення внутрішніх отворів корпусу	75
4.2.5 Розрахунок та призначення параметрів отворів основи корпусу	77
4.3 Опис конструкції приладу та його складових частин	77
4.3.1 Опис блоку вимірювального	78
4.3.2 Характеристики блока живлення	80
4.4 Опис схеми складання	81
Висновки	83
Перелік посилань	84
Додатки	85

					KMP.AKIT.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 с., 24 рис., 8 додатків, 11 посилань.

Об'єкт проектування – Пристрій для дистанційного моніторингу температури в складних умовах експлуатації.

Розроблений пристрій призначено для віддаленого контролю температури в складних умовах експлуатації, що потребує протяжної лінії зв'язку між датчиком, що вимірює температуру та блоком реєстрації. Зв'язок між блоком та датчиком реалізовано на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку, що дозволяє забезпечити роботу датчика на великій відстані від блоку реєстрації. А використання напівпровідникових матеріалів у якості чутливого елементу дозволяє розмістити їх у середині нафтової свердловини чи інших складних умовах. .

Ключові слова: реєстратор, оптоелектроніка, волоконно-оптичні сенсори, температура, тиск

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory note: 85 p., 24 figures, 8 appendices, 11 references.

Design object – Device for remote temperature monitoring in difficult operating conditions.

The developed device is intended for remote temperature control in difficult operating conditions, which requires an extended communication line between the sensor measuring the temperature and the registration unit. The connection between the unit and the sensor is implemented on the basis of a fiber-optic communication line, which allows the sensor to operate at a long distance from the registration unit. And the use of semiconductor materials as a sensitive element allows them to be placed in the middle of an oil well or in other difficult conditions. .

Key words: REGISTRAR, OPTOELECTRONICS, FIBER OPTIC SENSORS, TEMPERATURE, PRESSURE.

					KMP.AKIT.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Волоконно-оптичний вимірювач температури призначений для контролю температури у місцях, віддалених (~ 1 км) від блоку реєстрації електричного сигналу, шкідливих для здоров'я людини (радіація, сильні електричні поля).

Принцип роботи приладу – зміна пропускання чутливого елементу, виготовленого з напівпровідникового халькогенідного скла, при зміні його температури. Вибір скла в якості чутливого елементу обумовлений можливістю варіації його оптичними характеристиками при зміні складу в межах області склоутворення. Це дозволяє оптимізувати оптичну систему джерело випромінювання – чутливий елемент – приймач випромінювання.

Структурна схема первинного вимірювального перетворювача (ПВП) буде представляти собою двоканальну однопроменеву систему з використанням в його конструкції волоконно-оптичного Y-відгалужувача. Така конструкція дозволить усунути вплив можливої зміни випромінювання світловода, наприклад при зміні його температури, як напівпровідникового елемента.

З метою покращення завадозахищеності оптичний сигнал ПВП буде амплітудно-модульованим з частотою $f \sim 10^3$ Гц.

Оскільки для передачі оптичного сигналу планується використати багатомодові оптичні волокна, які є прозорі в ближній ІЧ-області спектру, тому в якості джерела і приймача випромінювання було вибрано світло діод типу і фотодіод типу .

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Вимоги які необхідно врахувати при конструюванні приладу для вимірювання температури волоконно-оптичним датчиком:

- 1.1 Область застосування: загальнодоступний;
- 1.2 Форма виконання: переносна;
- 1.3 Матеріал корпусу: пластмаса;
- 1.4 Джерело живлення: блок живлення від мережі;
- 1.5 Спосіб індикації: вбудований дисплей в корпусі зверху;
- 1.6 Типи датчика: ХСН;
- 1.7 Характеристики датчика: _____;
- 1.8 Кількість чутливих елементів 1 - виносний зонд з волоконно-оптичною лінією зв'язку (до 1,5 км);
- 1.9 Інтервал вимірювання температури : від ____ до _____ °С;
- 1.10 Точність вимірювання температури: _____
- 1.11 Плата друкована двостороння, розміри:
блок вимірювальний 75×500 мм;
блок обробки та індикації 70×45 мм
- 1.12 Розміри корпусу приладу: ____×____×____;
- 1.13 Робочий діапазон температур блоку вимірювального, – 5 ÷ 40 °С;
- 1.14 Атмосферний тиск, 86.0 ÷ 106.0 кПа;
- 1.15 Відносна вологість повітря при 30 °С , – ≤ 80%.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		8

2 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Волоконно-оптичні датчики температури з амплітудною модуляцією світла

Амплітудна модуляція світла найбільш зручна для подальшої обробки вихідного сигналу з оптичного датчика. Більшість схем амплітудної модуляції не вимагає використання когерентного випромінювання, не ставляться спеціальні вимоги до джерела і приймача випромінювання.

Амплітудна модуляція оптичного сигналу може бути реалізована за рахунок:

- 1). Ослаблення світла при зміні коефіцієнта поглинання α ;
- 2). Зміни поперечного перерізу оптичного сигналу;
- 3). Зміни коефіцієнта відбивання середовища при варіації показника заломлення n ;
- 4). Одержання додаткового випромінювання при зміні температури активного елемента датчика і інше.

2.1.1 Датчики, що використовують температурну залежність коефіцієнта поглинання матеріалу

Відомо, що світло, проходячи через напівпровідниковий матеріал, поглинається у випадку, коли енергія фотона $h\nu$ більша за ширину забороненої зони E_g .

При підвищенні температури ширина забороненої зони зменшується монотонно.

З графіка видно, що наприклад пропускання зразка на довжині хвилі λ_p буде різним при зміні температури. Знаючи оптичні характеристики матеріалу можна оцінити передавальну характеристику датчика.

Дійсно, згідно закону поглинання Ламберта-Бера

$$I(l, T) = I_0(1 - R) \exp[\alpha(T) \cdot l] \quad (2.1)$$

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

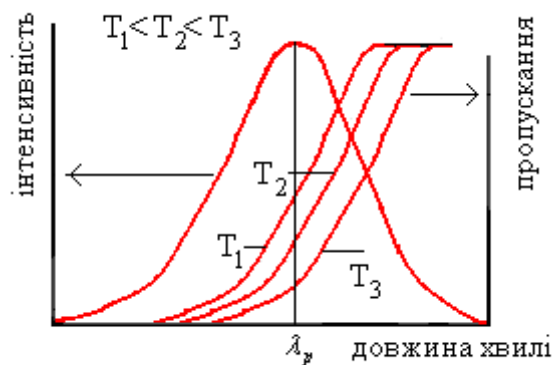


Рис.2.1 Принцип роботи волоконно-оптичного датчика температури (ВОДТ): 1 – спектр випромінювання джерела світла; 2, 3, 4 - залежність оптичного пропускання матеріалу від довжини хвилі λ при різних температурах $T_2 < T_3 < T_4$.

I_0 – інтенсивність світла, що падає на зразок;

I – інтенсивність світла, що пройшла через зразок;

R – коефіцієнт відбивання;

$\alpha(t)$ – коефіцієнт поглинання матеріалу при даній температурі і довжині хвилі.

Як показано в роботі [3], для GaAs

$$\alpha(T) = A \cdot [h\nu - E_g(T)]^{1/2} \quad (2.2),$$

A – константа матеріалу;

$E_g(T)$ – ширина забороненої зони при температурі T ;

h – постійна Планка;

ν – частота світла.

В інтервалі температур 20-297К $E_g(T)$ може описуватись формулою:

$$E_g(T) = \frac{E_g(0) - \gamma T^2}{(\beta + T)} \quad (2.3),$$

де $E_g(0)$ – ширина заборонної зони при 0К;

γ, β – емпіричні константи.

Для GaAs $E_g(0) = 1,522 \text{ eV}$, $\gamma = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$, $\beta = 300 \text{ K}$, $A = 2,462 \cdot 10^{-4} (\text{cm} \cdot \text{eV})^{-1}$.
Виходячи з рівняння (2.3), можна знайти довжину хвилі λ_g світла, яка даним напівпровідником буде поглинатись.

$$\lambda_g(T) = \frac{n_c}{E_g(T)} = \frac{n_c}{\frac{E_g(0) - \gamma T^2}{(\beta + T)}} \quad (2.4)$$

Враховавши співвідношення (2.2) і (2.3), зв'язок інтенсивності світла I , що пройшла через активний елемент, і його температуру можна записати як:

$$I(l, T) = I_0(1 - R) \exp \left\{ A \left[h\nu - E_g(0) + \frac{\gamma T^2}{T + \beta} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot l \right\} \quad (2.5)$$

Таким чином, якщо через зразок проходить світло з області його поглинання, то при збільшенні температури зразка інтенсивність світла буде зменшуватись. Якщо в якості приймача випромінювання вибрати фотодіод, то відмічена зміна інтенсивності приведе до зменшення напруги на фотодіоді (рис.2.2).

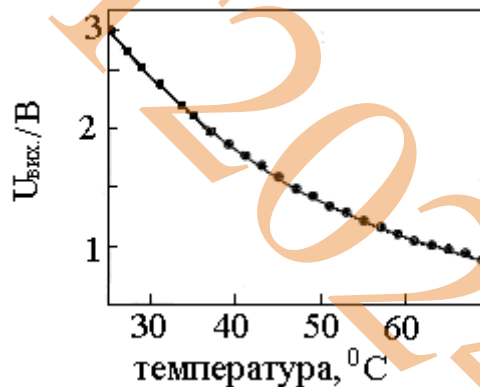


Рис.2.2 Температурна залежність вихідної напруги сенсора від температури [3].

Схема такого сенсора на основі GaAs приведена на рис.2.3, 2.4. 2.5 [5]



					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

В роботі [5] приводиться також методика метрологічного забезпечення сенсора, дослідження його статичних і динамічних характеристик. Розроблений сенсор і блок реєстрації, на думку авторів, придатний вимірювати температуру в зонах з високим значенням електромагнітного випромінювання (потужні високовольтні блоки).

Для зменшення похибок вимірювання в роботах [2,4] розглядається двохвильовий одноканальний сенсор температури. В якості активного елементу використовують відполіровану пластинку із GaAs, оптичне волокно – пластикове. Принцип роботи сенсора аналогічний попередньому. Структурна схема приладу приведена на рис. 2.6.

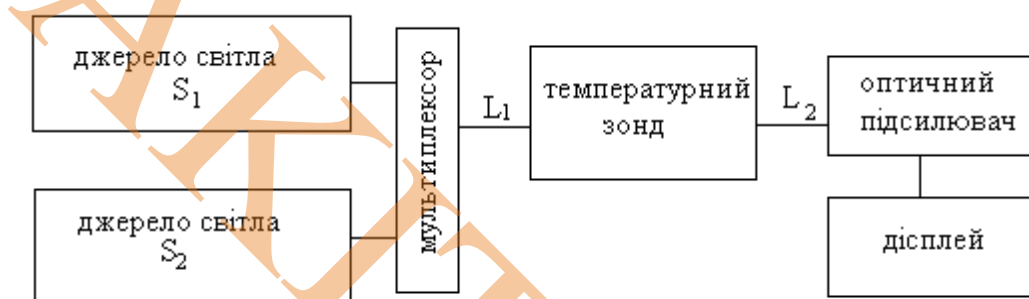


Рис.2.6 Структурна схема двохвильового двоканального сенсора температури [4].

Вимірювання температури даним методом відбувається наступним чином. У двохвильовий компенсаційній схемі використовуються два джерела випромінювання (S_1 , S_2) з двома різними довжинами хвиль. Випромінювання світлодіода IR940 з $\lambda = 950\text{nm}$ проходить через опорний канал. Пластинка GaAs для цієї довжини хвилі є прозорою. Світлодіод IR880, під випромінювання якого припадає на довжину хвилі 880nm використовується в якості джерела світла для контролю змін пропускання чутливого елементу. Після почергового проходження сигналу через активний елемент система реєстрації фіксує відношення сигналів, яке пропорційне зміні температури чутливого елемента. На рис.2.7 приведена крива температурних змін системи в інтервалі температур 20~80°C.

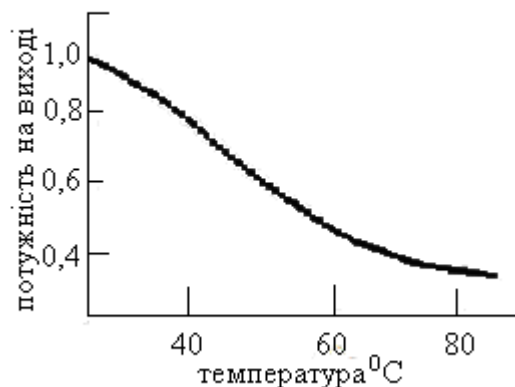


Рис.2.7 Залежність відносної зміни потужності на виході від температури для двохвильової системи [4].

Конструктивним недоліком розглянутого вище сенсора є послідовне проходження світла через оптичне волокно – чутливий елемент – оптичне волокно. Якщо врахувати, що такі сенсори будуть використовуватись для вимірювання температури на значних відстанях від блоку реєстрації, то більш зручною буде конструкція, коли вхідний і модульований промінь будуть поширюватись по одному і тому же оптичному волокну. Конфігурація такого сенсора запропонована в [2] і приведена на рис.2.8.



Рис.2.8 Схема ВОДТ з відбиваючим дзеркалом [2].

В даній конструкції сенсора відполірована пластинка із GaAs прикріплена до торця оптичного багатомодового волокна. Оптичне волокно і кристал GaAs вмонтовані в тонку трубочку із нержавіючої сталі діаметром 2 мм. На передню поверхню GaAs нанесене просвітляюче покриття, а на задню – відбиваюче дзеркальне покриття із золота, яке повертає промінь назад в оптичне волокно.

Для зменшення похибок вимірювання температури таким сенсором, обумовлених втратами у волокні, на з'єднаннях і інше, в конструкції також передбачена двохвильова схема, аналогічно [2], з двома джерелами випромінювання з різними довжинами хвиль. Світлодіоди AlGaAs з довжиною хвилі випромінювання $\lambda_s = 0,88$ мкм (робоча довжина) і світлодіод InGaAsP з довжиною хвилі випромінювання $\lambda_r = 1,3$ мкм (опорна довжина хвилі). На довжині хвилі $\lambda_r = 1,3$ мкм кристал GaAs є прозорим, тому пучок променів з цією довжиною хвилі в сенсорі використовується як опорний. Промінь з довжиною хвилі $\lambda_s = 0,88$ мкм поглинається активним елементом з GaAs і є робочим, причому його інтенсивність залежить від температури. Структурна схема такого сенсора приведена на рис.2.9.

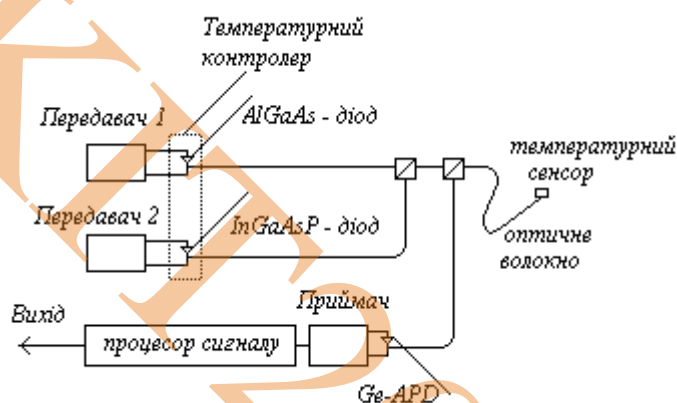


Рис.2.9 Структурна схема двоканалного сенсора [2].

Вимірювання температури відбувається наступним чином. Періодичні імпульси світла, що випромінюють діоди, довжиною хвиль λ_s і λ_r проходять через чутливий елемент GaAs сенсора. Відбившись від дзеркальної поверхні попадають на фотодіод. Інтенсивність світла λ_s і λ_r запам'ятовується мікроконтролером блоку реєстрації. Система реєстрації вимірює відношення сигналів $\gamma = I_s/I_r$, яке залежить від температури. Як вже відзначалось, така методика дозволяє нехтувати змінами, які можуть виникнути в волоконно-оптичному тракті оскільки обидва промені λ_s і λ_r пройшли практично один і той же шлях. Даний сенсор вимірює температуру від -20°C до $+150^\circ\text{C}$ з точністю $\sim 0,5^\circ\text{C}$.

2.1.2 Точкові волоконно-оптичні датчики температури з активним елементом з кремнію

Принцип роботи даних сенсорів аналогічний розглянутим вище і базується на зміщенні краю власного поглинання напівпровідника при зміні температури. На рис.2.10 представлені дві схеми побудови ВОД з чутливими елементами на основі кремнієвих пластин: прохідного і відбиваючого типів [6]. В прохідній схемі (б) чутливий елемент представляє собою структуру оптичне волокно – шар кремнію – оптичне волокно, а в відбиваючій схемі оптичне волокно – шар кремнію – дзеркало.

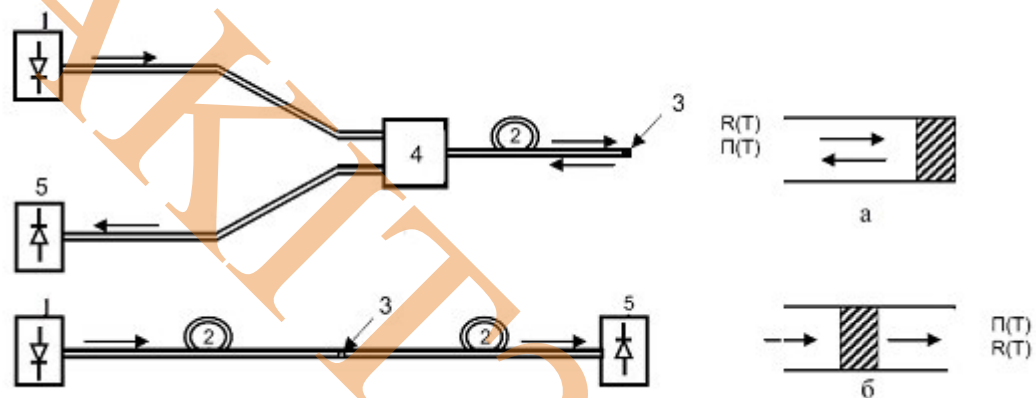


Рис.2.10 Схема ВОД температури відбиваючого(а) і прохідного (б) типів з активними елементами з кремнію: 1 – світлодіод; 2 – волоконний кабель; 3 – чутливий елемент з кремнію; 4 – багатомодовий волоконний розгалуджувач; 5 – ФПУ [6].

Розрахунки коефіцієнта пропускання і відбивання чутливих елементів ВОД проводили з врахуванням багатократних відбивань світла на границях розділу оптичних середовищ. Крім того, в розрахунках необхідно враховувати конкретні параметри оптичних волокон: діаметр серцевини, числову апертуру, модовий склад і умови оптичного узгодження джерела і приймача випромінювання. У відповідності до розрахунків, товщини кремнієвих пластин знаходяться в межах 10-100мкм, а поперечні перерізи $150 \times 150 \text{ мкм}^2$. Технологія виготовлення таких кремнієвих пластин досить добре розроблена. Для їх виготовлення

використовуються стандартні кремнієві пластина товщиною 200мкм, з яких методом направленого плазмохімічного травлення і фотолітографії виготовляються чутливі елементи ВОД. При цьому необхідно задовольнити дві основні вимоги: а). забезпечити хороший оптичний контакт, міцність і надійність з'єднання з оптичним волокном; б). витримати задане положення пластини по відношенню до торців волокна.

З відомих і доступних методів з'єднання напівпровідникових пластин з оптичним волокном був вибраний метод зварювання в газовому розряді. Для його реалізації був розроблений макет лабораторної установки, яка дозволяла здійснювати позиціювання пластини відносно торців оптичних волокон з точністю ± 3 мкм. Після позиціювання пластини і волокна і юстування одного відносно іншого проводився нагрів і зварювання пластини і волокон в полум'ї газового розряду. На рис.2.11 приведена фотографія чутливого елементу, який представляє собою ділянку оптичного волокна і пластинку кремнію товщиною 90 мкм, розміщену між двома торцями волокон з діаметром кварцової серцевини 125 мкм.

Зварні з'єднання поверхні кремнію з оптичним волокном є механічно міцними. Сила, при якій з'єднання розривається знаходиться в межах 3-5 н, що є близьким до значення границі міцності на розрив оптичних волокон даного типу.

Аналогічним способом виготовляються чутливі елементи ВОД відбиваючого типу. Додатково до кремнієвої пластини в даному випадку напилюють металеві дзеркала. В якості джерел випромінювання і приймачів в даному макеті використовувались світло діоди і фото діоди, які оптично узгоджені. Розроблені сенсори мають наступні характеристики: діапазон вимірювання температур – $60...+250^{\circ}\text{C}$; абсолютна похибка $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$; розміри чутливого елемента $50 \times 200 \times 200$ мкм³; швидкодія $< 2 \cdot 10^{-2}$ с; довжина волоконно-оптичного тракту – 50 м.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		17

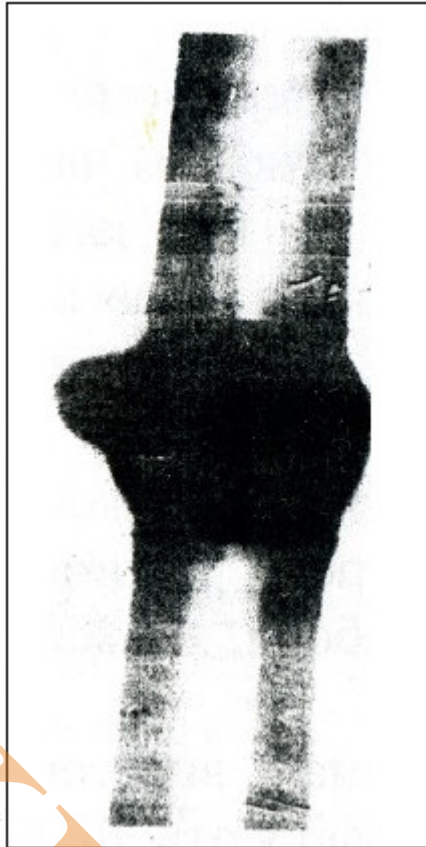


Рис.2.11. Фотографія кремнієвої пластини, привареної до оптичних волокон [6].

На основі таких ВОД створено 4-х каналну волоконно-оптичну систему вимірювання температури. В даний час проводиться розробка системи контролю температури при лікуванні хворих методами СВЧ і лазерної гіпотермії.

2.1.3 Волоконно-оптичний датчик з активним елементом з тонкої плівки германію

Добре відомі температурні сенсори пропускаячого і відбиваючого типу на основі пластин кристалів GaAs [1-5]. Була замічена сильна температурна залежність не тільки коефіцієнта поглинання α , але й показника заломлення n . Останній впливає на лінійність температурного зсуву краю поглинання і погіршує чутливість системи.

Для більшості напівпровідників $\frac{dn}{dT} \approx 10^{-4} \text{град}^{-1}$ і більше. Тому, якщо на торець оптичного волокна з'єднати не з об'ємним зразком напівпровідника, а з тонкою плівкою і розглядати вплив температури на зміну інтерференційної картини, то це дає можливість використання такої плівки в якості активного елементу ВОД [7]. Чутливість такого сенсору можна підвищити в 5-6 раз, зменшуючи інерційність системи і її вартість.

Плівки Ge є оптимальним чутливим матеріалом, вони задовольняють основним вимогам:

1). Велике відбивання плівки;

2). Порівняно велике значення $\frac{dn}{dT} \approx 10^{-4} \text{град}^{-1}$ при $\lambda = 632,8 \text{ мкм}$. Ця довжина хвилі з області фундаментального поглинання Ge. Контроль зміни $\frac{dn}{dT}$ краще проводити в області прозорості ($\lambda \approx 1850 \text{ мкм}$). При визначенні коефіцієнта відбивання плівки з урахуванням багатократного відбивання потрібно враховувати поглинання плівкою і в області прозорості. Даний ВОД температури представляє собою багатомодове волокно, на торець якого напилена плівка Ge товщиною $200 \div 1400 \text{ нм}$.



Рис.2.12 Структурна схема сенсора з плівкою Ge. [7]

S_1, S_2 – поверхні розділу оптичних середовищ (див. рис.2.12),

r_1, t_1 – коефіцієнти відбивання і пропускання на поверхні S_1 , коли промінь проходить від волокна;

r_1', t_1' - коефіцієнти відбивання і пропускання на поверхні S1, коли промінь проходить в зворотньому напрямку;

r_2, t_2 - коефіцієнти відбивання і пропускання на поверхні S2, коли промінь проходить від волокна;

r_2', t_2' - коефіцієнти відбивання і пропускання на поверхні S2, коли промінь проходить в зворотньому напрямку.

Оскільки коефіцієнт термічного розширення складає $6 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, що є приблизно на два порядки менше, ніж температурно залежний коефіцієнт відбивання, то ним можна знехтувати.

Амплітуду відбитої хвилі в цьому випадку можна записати:

$$A^{(r)} = (r_1 + t_1' t_1 r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta} + r_1' t_1 t_1 r_2^2 e^{-4\alpha d} \cdot e^{i2\delta} + r_1^2 t_1 t_1 r_2^3 \cdot e^{-6\alpha d} e^{i3\delta} + \dots) A^{(i)} \quad (2.6)$$

де $A^{(i)}$ – амплітуда падаючої хвилі, d – товщина плівки, δ - зсув фази між двома послідовними пучками. Коефіцієнт відбивання такого зонду може бути записаний наступним чином:

$$r = r_1 + t_1 t_1' r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta} (1 + r_1' r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta} + r_1'^2 r_2^2 e^{-4\alpha d} e^{i2\delta} + \dots) = r_1 + \frac{t_1 t_1' e^{-2\alpha d} e^{i\delta}}{1 - r_1' r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta}} \quad (2.7)$$

Враховавши, що $r_1 = r_1'$, $t_1 = t_1'$ для поверхні S1 і $r_1 = -r_1'$ і $t_1 \cdot t_1' = 1 - r_1^2$ вираз (2.7) можемо записати

$$r = r_1 + \frac{(1 - r_1^2) r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta}}{1 + r_1 r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta}} = \frac{r_1 + r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta}}{1 + r_1 r_2 e^{-2\alpha d} e^{i\delta}} \quad (2.8)$$

Інтенсивність світла, відбитого від плівки Ge в волокно $I^{(r)}$ дорівнює

$$I^{(r)} = A^{(r)} \cdot A^{(r)*} \quad (2.9)$$

Відбивання від задньої стінки в волокно R :

$$R = r \cdot r^* = \frac{r_1^2 + r_2^2 e^{-4\alpha d} + 2 r_1 r_2^{-2\alpha d} \cos \delta}{1 + r_1^2 r_2^2 e^{-4\alpha d} + 2 r_1 r_2 e^{-2\alpha d} \cos \delta} \quad (2.10)$$

Останній вираз відрізняється від класичних додатковим членом $e^{-2\alpha d}$, обумовленим відбиванням r_2 від поверхні S2 і показує, що відбивання є функцією

температурно залежного як коефіцієнта відбивання, так і коефіцієнта поглинання. На рис.2.13 представлено відбивання плівки Ge як функція її товщини на довжині хвилі $\lambda = 1550$ нм для двох температур.

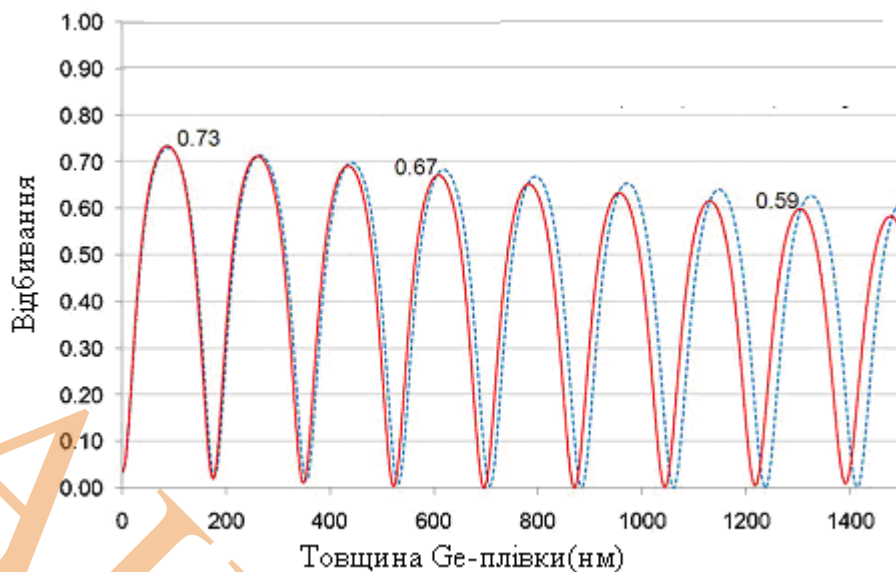


Рис.2.13 Залежність коефіцієнта відбивання від товщини при 100°C (суцільна лінія) і 0°C (пунктирна лінія), поглинання 40% [7].

Як видно з рис.2.13, максимальна зміна відбивання в інтервалі температур 0÷100 °C спостерігається на товстих плівках. Але ця залежність не є лінійною. Чутливість такого сенсора з товщиною активного елемента $d=495$ нм складала 0,0012 град-1.

Потужність світлового променя, що проходить після відбивання через оптичне волокно і попадає на фотодіод дорівнює

$$P(t) = \eta \cdot R(T) P_0 \quad (2.11)$$

де η – коефіцієнт пропускання волоконно-оптичного тракту; $R(T)$ – коефіцієнт відбивання; P_0 – потужність падаючого світла.

На рис.2.14 приведена теоретична залежність відбивання плівки Ge від температури.

Було [7] сконструйовано серію волоконних сенсорів для температурного вимірювання, кінець кожного волокна яких (стандартні одномодові волокна G 652) було покрито германієвою плівкою різної товщини від 200 до 500 нм і далі

захищено теплопровідним керамічним рукавом. Структура відбиваючого сенсорна схожа за розміром на волоконний коліматор та потребує значно менше місця для установки, ніж поглинаючий сенсор на об'ємному Ge.

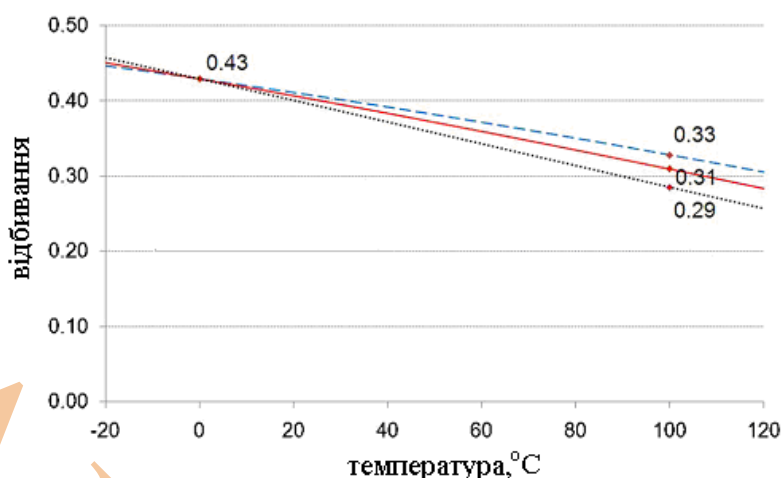


Рис.2.14 Залежність коефіцієнта відбивання для плівки германію при $\lambda = 495$ нм від температури; пунктирна лінія – поглинання в плівці відсутнє, штрихпунктирна лінія – поглинання 100%, суцільна лінія – поглинання складає 40%.

З метою вимірювання температури за допомогою таких чутливих зондів була розроблена проста тестова система (рис. 2.15), включаючи лазерний діод $\lambda_p = 1550$ нм, з розділенням вхідних та вихідних оптичних сигналів, один кінець якого з'єднано з сенсором, а другий з системою реєстрації оптичного сигналу. Сенсор розташували у температурній камері. Затухання волоконно-оптичного тракту складало 3 Дб. Дана система представляє собою еталон Фабрі-Перо. Загальна зміна амплітуди сигналу від 0°C до 100°C складає 12% зміни відбивання або $0,0012$ градус⁻¹ на рис.2.13. Як вказано на рис.2.14, існує хороше узгодження експериментальних даних з моделлю, що підтверджує правильність вибору параметрів для температурної залежності показника заломлення, який складає $7,0 \cdot 10$ градус⁻¹ та коефіцієнтом поглинання 40% при температурах вище 100°C. Чутливість системи по температурі складає приблизно 0,1°C.

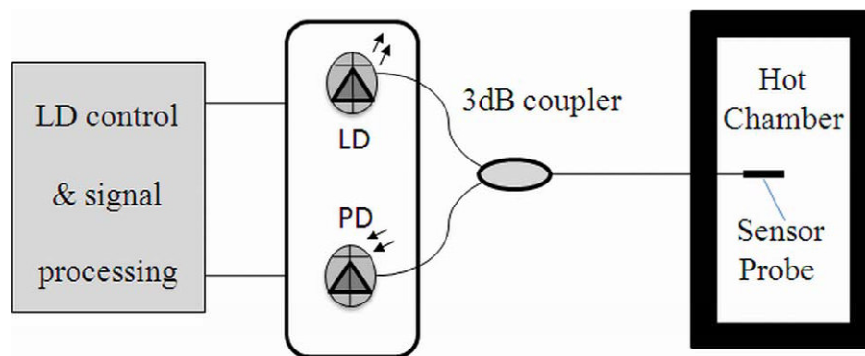


Рис.2.15 Блок-схема експериментальної установки [7].

Аналізуються декілька проблем. По-перше, похибка товщини плівки ± 5 нм, яка пов'язана з нестійкістю процесу покриття (напилення) плівки, призводить як до варіації чутливості до 2% при температурах вище 100°C , так і до зміни відбивання до 6% (зміна відбивання при температурах вище 100°C прийнято за 1), при товщині плівки 495 нм. Останнє вимагає калібрування кожного сенсору перед використанням. По-друге, результати моделювання суттєво відхиляються від експериментальних кривих для низькотемпературної області, що може бути наслідком нелінійної залежності поглинання від температури у температурних межах нижче 20°C та вище 80°C .

2.1.4 Оптичний датчик температури на основі аморфної плівки SiC

Аналіз літературних даних по ВОД показує, що найбільш чутливими, заводо захищеними є датчики, чутливими елементами яких є еталони Фабрі-Перо. При нагрівання такої чутливої пластини змінюється її товщина і показник заломлення, що приводить до зміни фази хвилі оптичних резонансів. В роботі [8] проведено дослідження резонансів Фабрі Перо, які представляють собою SiC-плівки, напилені на кварцеві підкладки.

Для приготування нанокристалічних плівок SiC на діелектричних підкладках використовували метод прямого іонного осадження з плазмовим джерелом іонів з температурою підкладки $T_{\text{п}}=930^\circ\text{C}$ і енергією іонів 90eV. Здійснено дослідження температурних спектрів відбивання конденсованих плівок

SiC в інтервалі довжин хвиль 500÷1200нм. На рис.2.16 представлені спектри відбивання SiC-плівок різної товщини, нанесених на підкладки з лейкоапіфа . При товщинах плівки порядку довжини хвилі одержана стійка інтерференційна картина. Це свідчить, що верхні і нижні поверхні SiC-плівки є дзеркалами інтерферометра Фабрі-Перо, який схематично зображено на рис.2.17.

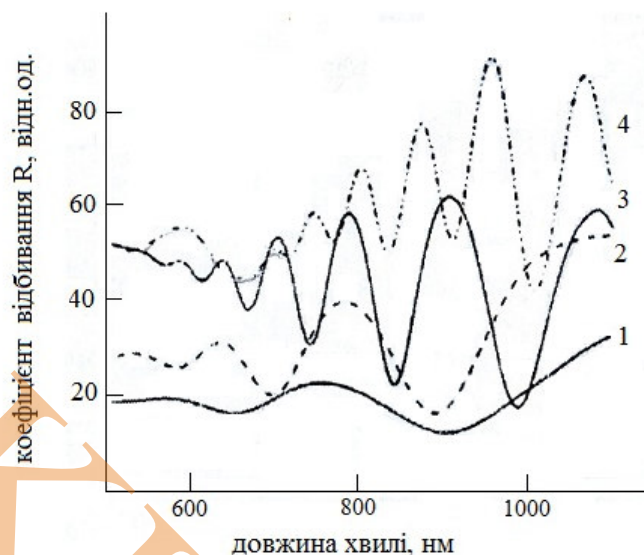


Рис.2.16 Спектр відбивання від плівки SiC різної товщини d , осаджених при температурі підкладки $T_{\text{п}}=930^{\circ}\text{C}$: 1 - $d=0,6\text{мкм}$; 2 - $d=1,4\text{мкм}$; 3 - $d=2\text{мкм}$; 4 - $d=3,34\text{мкм}$.

Для двох сусідніх променів, що поширюються між дзеркалами під кутом Θ , оптична різниця ходу хвиль, яка залежить від температури визначається співвідношенням [8].

$$\Delta = 2n(\lambda, T) \cdot d(T) \cos \theta_i \quad (2.12)$$

n – показник заломлення;

d – товщина;

Θ_i – кут заломлення в плівці.

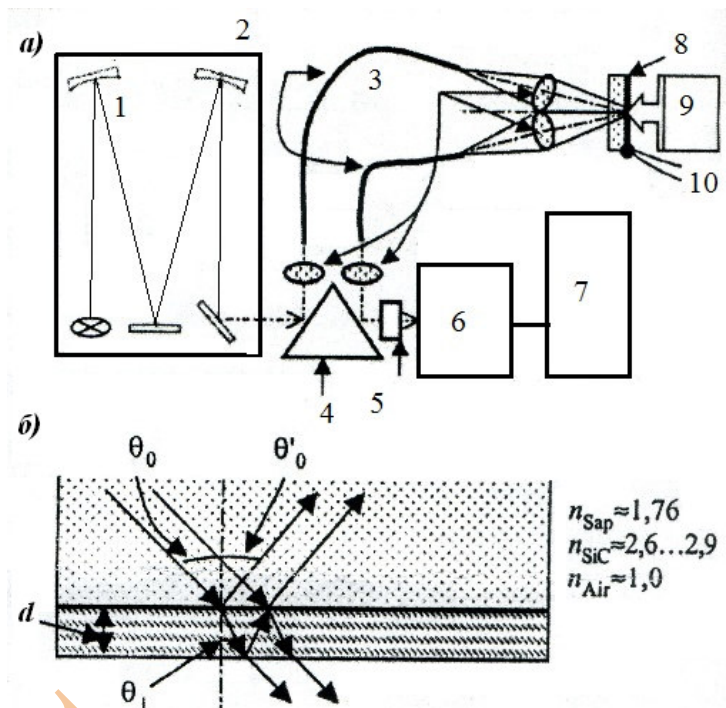


Рис.2.17 Схема спектральної оптичної системи для вимірювання температури за допомогою плівкового інтерферометра Фабрі-Перо, виготовленого з плівки SiC (а), та формування інтерференції і інтерферометрі Фабрі_Перо (б). 1 – спектрометр Lambda 35; 2 – кварцові світловоди; 3 – узгоджуючі лінзи; 4 – плоскі дзеркала; 5 – фільтр, що відсікає ІЧ-випромінювання; 6 – фотоприймач; 7 – комп'ютер; 8 – інтерферометр Фабрі-Перо; 9 – нагрівач; 10 - термопара для контролю температури; Θ_0 і Θ'_0 - кути падіння та відбивання; Θ_1 - кут заломлення; n – показник заломлення [8].

Оптичній різниці ходу відповідає зміна фаз хвиль; якщо $\Theta_1 = 0$ і $\cos\Theta_1=1$, тоді:

$$\Delta\Phi = \frac{2kn(\lambda, T)d}{\lambda} \quad (2.13)$$

Відбита оптична хвиля від тонкоплівкового SiC інтерферометра Фабрі-Перо дуже чутлива до зовнішнього збурення, зміни температури, що впливає на різницю ходу відбитих променів. Розв'язавши обернену задачу, можна знайти температуру інтерферометра Фабрі-Перо.

В роботі [8] температурна залежність зміни фази була визначена як

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta T} = 2\pi d k_{\Phi} / \lambda, \quad (2.14)$$

де $k_{\Phi} = k_n + k_d$, k_n – термооптичні коефіцієнти зміни показника заломлення $\frac{\Delta n}{\Delta T_n}$,

$k_d = \frac{\Delta d}{\Delta T d}$ – термічне розширення плівки.

З останньої формули видно, що зміна фази хвилі від температури прямо пропорційна товщині шару і показнику заломлення плівки, а також сумі термооптичного коефіцієнту і її температурного розширення. Результати дослідження плівок різної товщини показують, що оптимальними є плівки товщиною $1,5 \div 2,0$ мкм.

З врахуванням $k_n \gg k_d$ цього формула (2.14) може бути записана наступним чином

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta T} = \frac{2\pi d}{\lambda_m(T_0)} \cdot \left\{ \frac{1}{\lambda_m(T_0)} \left(\frac{\Delta\lambda_m}{\Delta T} \right) \right\}, \quad (2.15)$$

$\lambda_m(T_0)$ – довжина хвилі максимуму інтерференції m -го порядку при даній температурі T_0 $\Delta\lambda_m$ – зміна довжини хвилі на нагріванні інтерферометром.

Таким чином, зміна показника заломлення і товщини плівки зі зміною температури приводить до зміни довжини хвилі інтерференційних екстремумів.

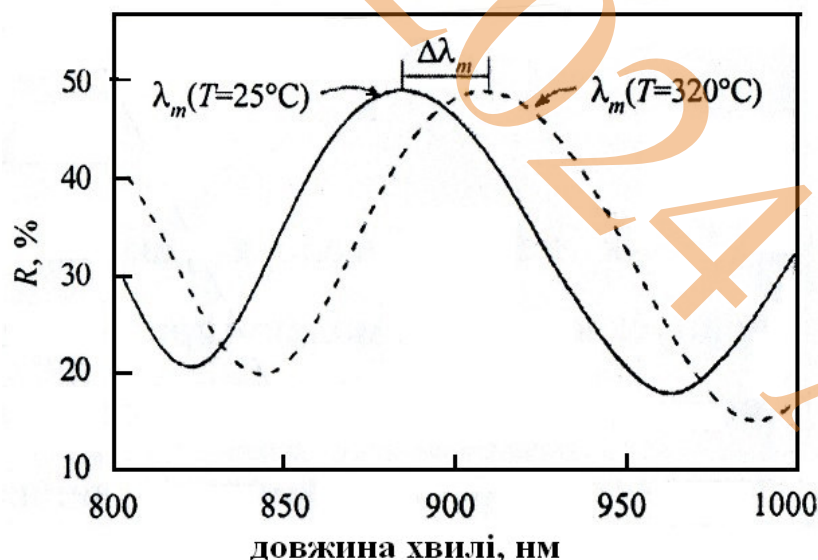


Рис.2.18 Зсув інтерференційного максимуму при нагріванні тонкоплівкового SiC інтерферометра Фабрі-Перо від кімнатної температури (25°C) до температури 320°C , товщина плівки 2 мкм [8].

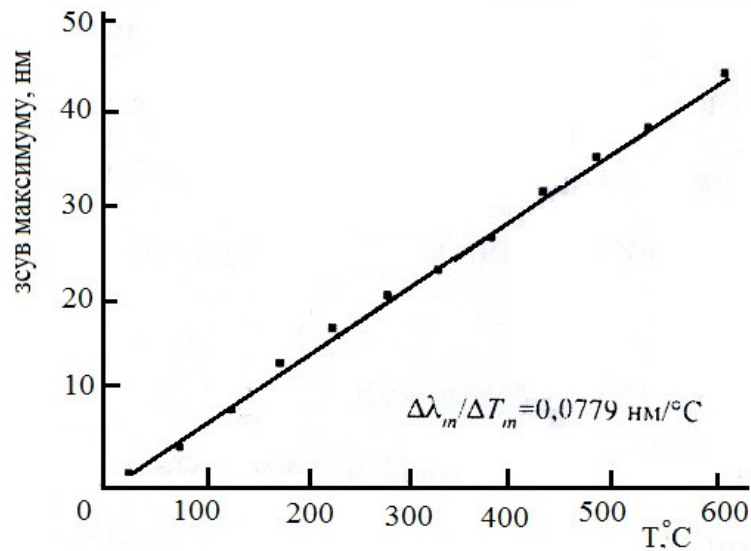


Рис.2.19 Зсув інтерференційного максимуму як функція вимірюваної температури (точки – експериментальні точки, суцільна лінія – апроксимація) [8].

З формули (2.15) видно, що зміна фази відбитої хвилі пропорційна зсуву максимуму інтерференції при зміні температури,. Для вибраного зразка $\Delta\lambda_{\max}$ від температури інтерферометра із рисунка 2.18 видно, що спектральний зсув при нагрівання може бути добре апроксимований до лінійної функції, що є позитивним фактором для характеристик датчика. Автори вважають, що дана система може вимірювати температури в області до 1000°C.

2.2 Аналоги об'єкту проектування

Волоконно-оптичний зондовий термометр:

Волоконно-оптичний зондовий термометр (FOT) призначений для локального прецизійного виміру температури різних об'єктів в спеціальних умовах, що обмежують можливість вживання інших способів виміру: наявність сильних електромагнітних перешкод в зоні виміру або по шляху передачі сигналу від датчика (у робочому просторі індукційних і СВЧ- нагрівачів, в просторах, що важкий-екрануються, під обшивкою і на поверхні літальних апаратів і тому подібне) ; - особливі вимоги до матеріалів датчика, малих габаритів сенсорного елементу, умов забезпечення стерильності і малої інвазивності (медичне

вживання); - особливі вимоги до електроізоляційних властивостей, хімічної інертності і стійкості, пожежобезпечність (хімічні виробництва, зберігання ГСМ, вибухонебезпечні технологічні процеси) .

Принцип дії: Принцип дії приладу заснований на прецизійній реєстрації спектрального зсуву резонансної довжини хвилі волоконних брегговської ґратки (ВБР), створених в серцевині волоконного світлопроводу (ВБР-датчик). Відповідна математична обробка цього спектрального зсуву, з врахуванням калібрування дає вичерпну інформацію про вимірювану температуру.

Основні достоїнства:

- висока чутливість і швидкодія;
- відносно великої діапазон вимірюваних температур;
- найкращі массогабаритні показники, мініатюрність – мінімальний розмір чутливого елементу визначається діаметром світлопроводу 80 - 300 мкм (тіпич-ноє значення 125 мкм) і протяжністю ВБР 0.5 - 3 мм;
- висока перешкодо захищення, нечутливість до електромагнітних перешкод, таким як СВЧ- поле, іскровий розряд, магнітні поля, електромагнітні імпульси різної природи і будь-якої інтенсивності; абсолютна електробезпека, пов'язана з відсутністю електричних ланцюгів між датчиком і реєструючим модулем;
- повна електро-, вариво-, пожежобезпечність, висока хімічна стійкість сенсорних елементів;
- простота обслуговування.

Сфери застосування:

- енергетика, у тому числі - атомна і термоядерна;
- авіація і космонавтика;
- наземний, водний і підводний транспорт;
- металургія і хімічна промисловість;
- нафтовидобування і газодобування;
- трубопровідний транспорт; будівництво;

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		28

- медицина;
- системи безпеки;
- наукові дослідження.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики:

Параметр	FOT-22-100-01
Стандартний діапазон вимірюваних температур, °C	0 ÷ 100
Точність вимірювання температури, °C	0.1
Постійна часу відгуку ВБР-датчика, секунд	≤ 0.3
Час опитування оптичної гілки, мкс	~10
Принцип виміру	спектральний
Тип світловодів	одно-модовий
Спектральний діапазон джерела світла, мкм	1.3
Мінімальний розмір зонда (діаметр x довжина), мм	0.08 x 0.5
Мінімальна спектральна ширина ВБР-датчика, нм	0.3
Споживана потужність, Вт	< 10
Габаритні розміри (Д x Ш x В), мм	200 x 300 x 90
Вага, кг	< 2



рис.2.20 Зондовий волоконно-оптичний вимірювач температури [1]

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка ПВП волоконно-оптичного датчика термометри

3.1.1 Оптична схема волоконно-оптичного датчика термометри

В основу роботи приладу покладена залежність зміни пропускання ХСН залежно від його температури, тобто інтенсивність світла, що проходить по робочому каналу через чутливий елемент буде прямо залежати від температури. Таким чином за величиною вихідного сигналу здійснюється вимірювання температури. На рисунку 1 приведена структура оптичної системи приладу на основі якої побудовано і проведено даний розрахунок.

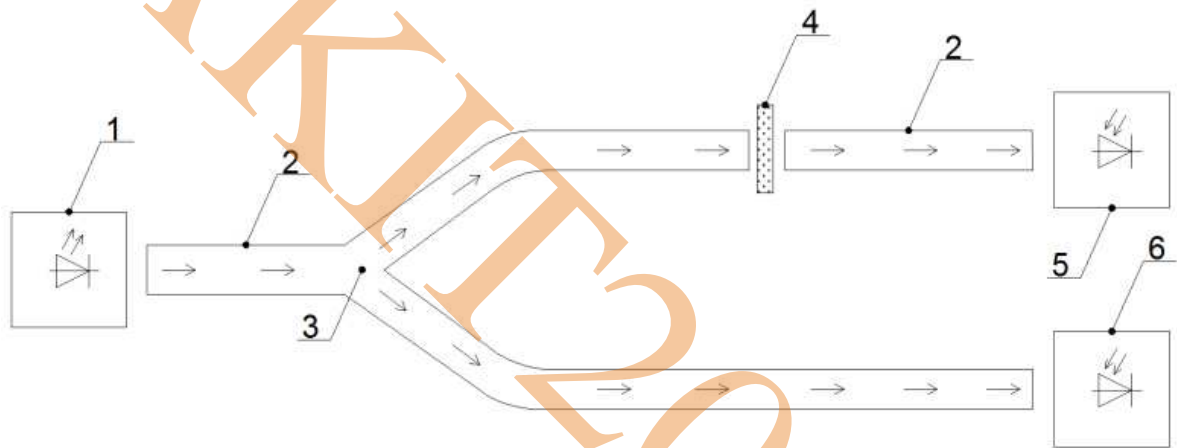


Рис. 3.1 Схема оптичної частини ВОДТ

- 1- джерело випромінювання;
- 2- волокно;
- 3- волоконно-оптичний розгалужувач;
- 4- чутливий елемент виготовлений з ХСН;
- 5- фотодіод робочого каналу (ФД1);
- 6- фотодіод опорного каналу (ФД2).

Для зручності подальших розрахунків та полегшення розуміння наведемо основні необхідні технічні характеристики елементів оптичної системи: оптичного волокна, СД, ФД.

3.1.2 Опис джерела випромінювання

В якості джерела та приймача випромінювання з метою спрощення конструкції первинного вимірювального перетворювача нами вибрано лазерний світлодіод (M808D50-3--1230) та фотодіод (OPF432), які призначені для використання в волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Вибір типу світлодіода базувався на спектральній випромінювальній характеристиці та максимальній випромінюваній потужності. Основні параметри світлодіода [15]:

- назва – WSLP-808-180m-M Wave spectrum;
- робоча довжина хвилі λ – 0,808 мкм;
- максимум спектрального розподілу на довжині хвилі λ – 0,803...0,813 мкм;
- потужність випромінювання при $I_{пр} = 100\text{мА}$, не менше 200 мВт;
- оптимальний робочий струм 100 мА;
- вхідний опір R – 4,0 Ом;
- діаметр вихідного світлового пучка 0,25мм;
- діапазон робочих температур $T = -40 \dots +85^\circ\text{C}$.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

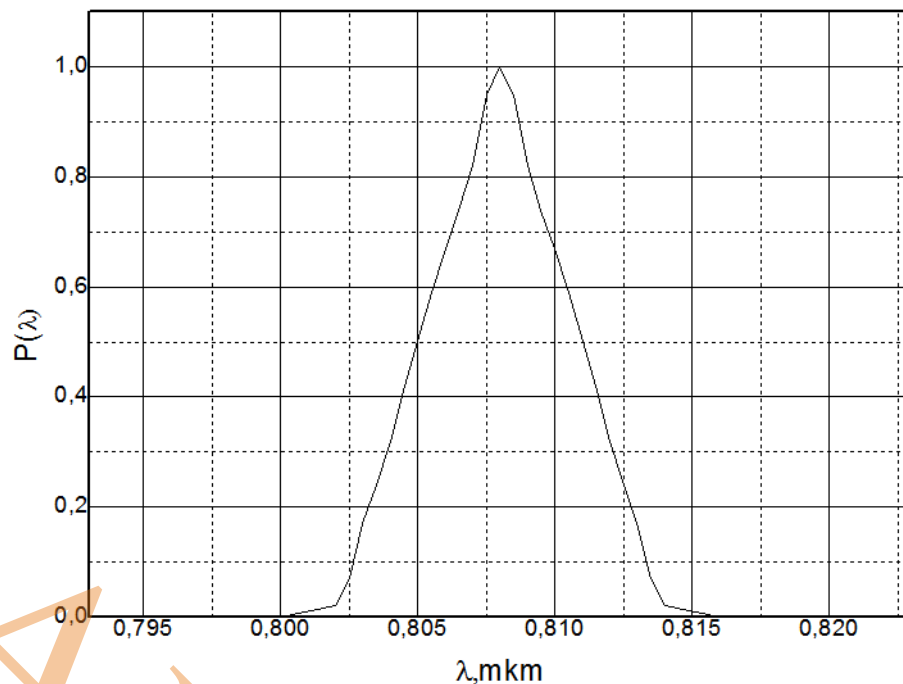


Рис. 3.2 Відносна спектральна характеристика випромінювання світло діода [1]

3.1.3 Опис параметрів оптичних волокон

- матеріал волокна – кварц, легований бромом;
- показник заломлення n – 1,553 на довжині хвилі λ – 0,85 мкм;
- діаметр серцевини – $d_c = 0,1$ мм;
- втрати у волокні 1 км – 2,7...3,0 дБ;
- стійкість до температурних дій: висока - + 170(180)°C, низька - - 60°C.

3.1.4 Опис характеристик термочутливого елементу

Напівпровідникові матеріали, що були отримані для проведення досліджень, після різки представляють собою плоскопаралельні пластини. Вони, як правило, не мали потрібної товщини та якості поверхні. Товщина взірців повинна була бути

такою, щоб забезпечити достатнє пропускання матеріалу. В нашому випадку це складало приблизно $d < 1,0$ мм. Поверхня для оптичних досліджень має бути гладкою, без шорсткості, дзеркальною. Для досягнення цього взірці послідовно шліфувались і полірувались з обох сторін.

Пластини кріпили до тримача шліфувального станочка наклеюванням. В якості клеючої речовини використовували розігрітий салол або оптичні смоли. Закріплені взірці шліфували алмазною пастою, потім полірували на обтягнутому батистом скляному крузі. Час від часу товщина взірця контролювалась висотоміром. Слід зауважити, що процедури шліфовки та поліровки потребують певної обережності та акуратності через крихкість склоподібних матеріалів, яка може привести до появи протягом роботи небажаних сколів, тріщин або подряпин на поверхні.

Спектри поглинання стекол вимірювались на установці, зібраній на базі спектрофотометра СФ-46. Оскільки для нас представляло інтерес вимірювання в видимій та ближній ІЧ-області, джерелом світла в спектрофотометрі слугувала лампа розжарювання. Нагрівання взірців здійснювалось з застосуванням РИФ-101 безпосередньо в кюветі для взірців від кімнатної температури до приблизно 150°C . Верхня межа цього діапазону обмежувалась розм'якшенням матеріалу чутливого матеріалу ЧЕ датчика.

Варіацією складу можна змінювати положення краю власного поглинання відповідно спектрам випромінювання світлодіоду та спектрам чутливості фотодіоду. Сигнал завжди має бути достатньо великим, щоб не вийти за межі чутливості фотодіоду і не виявитися загубленим. Тому верхня межа температурного інтервалу роботи ЧЕ датчика, крім температури розм'якшення, визначається також величиною пропускання при цій температурі.

Для пошуку оптимального складу матеріалу ЧЕ досліджено ряд складів стекол з системи As-Se. Вибір даної системи обумовлений наступними

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

причинами: технологічністю (добре розробленими методами очистки вихідних компонентів, режимами синтезу, загартовування і т.д.); відносною простотою та меншою енергомісткістю технологічного процесу, широкою областю склоутворення (синтезуються сплави $As_x Se_{1-x}$, де $x = 0 \dots 0,7$) і, звідси, більшою можливістю зміни властивостей, зокрема положення краю смуги фундаментального поглинання та його температурною залежністю; стабільністю та відтворюваністю фізико-хімічних властивостей в часі. Зауважимо також, що протягом останніх років науковці і практики значно активізували дослідження ХСН, інтерес до яких перед тим трохи було зменшився, оскільки з'ясувалося, що ці матеріали потенційно придатні для нанотехнологій.

В якості матеріалу для ЧЕ треба використовувати взірці з пропусканням $\tau = 60-70\%$ на довжині хвилі випромінювання світлодіоду при кімнатній температурі, тому що при нагріванні пропускання буде зменшуватись, а величина оптичного сигналу повинна лишатись в межах чутливості фотодіода. Стекла з $x \geq 40$ ат.% As задовольняють цим вимогам. Верхня межа температурного діапазону роботи ЧЕ з стекол системи As-Se визначається температурою розм'якшення T_g .

Для подальших температурних досліджень було вибрано склад $As_{45}Se_{55}$, $d=0,6$ мм. На рис.3.3 зображено спектри пропускання при трьох температурах.

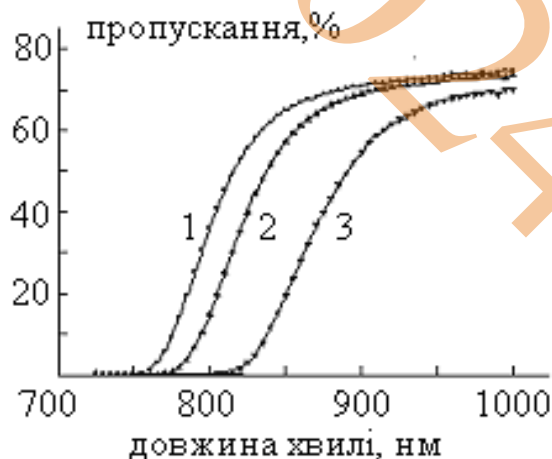


Рис.3.3 Спектри пропускання скла $As_{45}Se_{55}$, $d=0,6$ мм при різних температурах: (1) - $T=291K$; (2) - $333K$; (3) - $423K$.

З рис.3.3 витікає, що зсув краю спектру пропускання при підвищенні температури від кімнатної до 150°C в довгохвильову область складає 75нм (на рівні пропускання в 50%), і характеризується величиною 0,57 нм/град. Враховуючи рис.3.1, зокрема криву 3, вибираємо оптимальну довжину хвилі джерела випромінювання ($\lambda_p=808\text{нм}$). Отже, температура розм'якшення матеріалу напівпровідника і величина поглинання при ній визначають не тільки верхню температурну межу роботи датчика, а й тип використовуваного світлодіоду.

3.1.5 Опис характеристик приймача випромінювання

Приймач випромінювання для нашої задачі обирався виходячи з міркувань оптимальної оптичної узгодженості (чутливий елемент-джерело випромінювання-приймач випромінювання). Отже необхідно що наш приймач мав пік чутливості на довжині хвилі $\lambda_p=808\text{нм}$. Також приймач повинен володіти стійкістю параметрів при невеликій зміні температури, мати спів розмірну чутливу площадку до діаметра оптичного волокна та можливість монтажу оптичного волокна в корпус приймача.

Враховуючи ці вимоги чудовим варіантом може бути використаний кремнієвий фотодіод SD3324-002/BAА, що виробляється фірмою «Honeywell».

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.3.4 зовнішній вигляд фотодіода

Цей приймач має 3 виводи, їх призначення та відповідний номер:

1. Живлення
2. Вихід
3. Заземлення

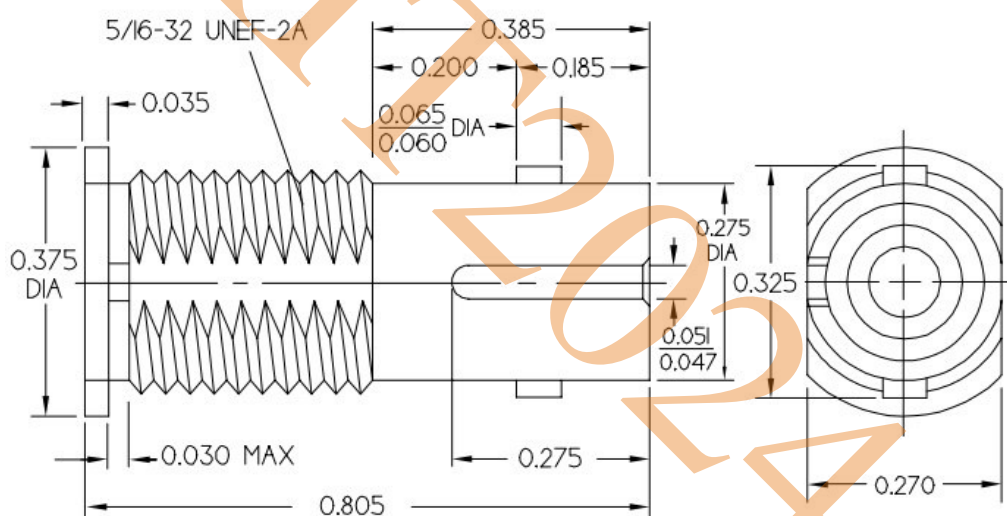


Рис.3.5 Розміри фотодіода

Електрооптичні характеристики:

Струмова інтегральна чутливість: $S_{IH} > 0,55$ А/Вт

Пік чутливості на довжині хвилі: $\lambda = 850$ нм

Мінімальна робоча напруга $U_p = 5$ В

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Постійна часу при включенні або виключенні не більше 0,015мс

Діаметр чутливого елементу 0,6мм

Гранична чутливість $\Phi_{\text{пр}}=3 \cdot 10^{-10} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$

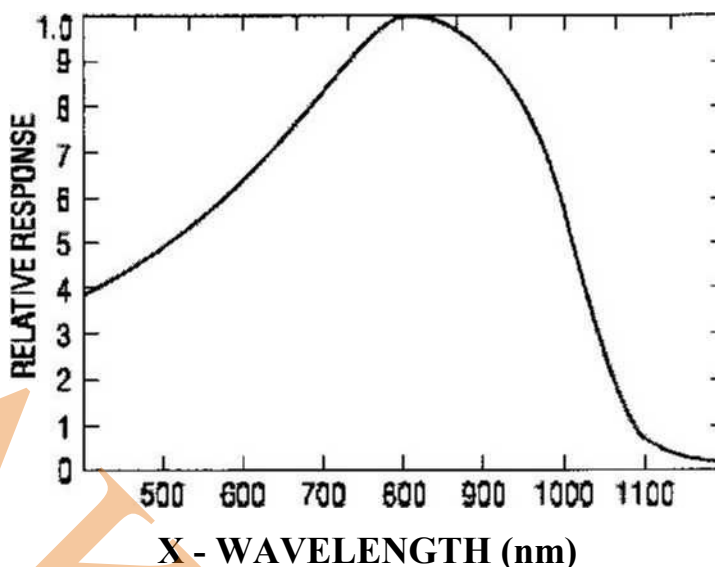


Рис.3.6 Залежність відносної чутливості фотодіода від довжини хвилі.

3.2 Розрахунок порогової характеристики волоконно-оптичного датчика температури

3.2.1. Розрахунок світової енергії, що попадає на площадку приймача

В нашому випадку джерело випромінювання повинно працювати в постійному режимі. Потужність випромінювання світло діоду при $I_{\text{пр}}=50\text{мА}$, не менше $P = 200 \text{ мкВт}$

Діаметр серцевини оптичного волокна $d_c=0,1\text{мм}$, знайдемо площу поперечного перерізу серцевини оптичного волокна:

$$S_b = \pi d^2 / 4 \quad (3.1)$$

$$S_b = 3,14 \cdot 0,1^2 / 4 = 0,00785 \text{ мм}^2$$

Діаметр площини випромінювання світлодіоду – $d=0,25\text{мм}$. Визначимо площу випромінюючої ділянки:

$$S_{\text{вд}} = 3,14 \cdot 0,25^2 / 4 = 0,049 \text{ мм}^2$$

За даними значеннями визначимо потужність випромінювання, що буде надходити у волокно, використавши для цього формулу:

$$P_{\text{вх}} = P \cdot (S_{\text{в}}/S_{\text{вд}}) \quad (3.2)$$

$$P_{\text{вх}} = 200 \cdot (0,00785/0,049) = 32,04 \text{ мВт}$$

Для визначення світлової енергії, що попадає на площадку фотодіода, для початку треба розрахувати втрати у волоконно-оптичному тракті. Для цього введемо τ = коефіцієнт пропускання границі розділу оптичних середовищ. При нормальному падінні променя на границю двох ізотропних середовищ пропускання визначається за формулою

$$\tau = 1 - \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3.3)$$

де n_1, n_2 – показник заломлення суміжних середовищ.

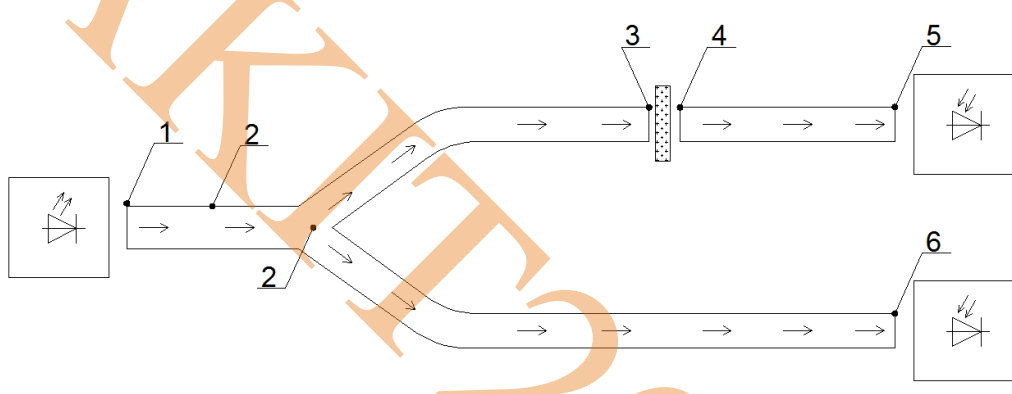


Рис. 3.7 Шлях проходження оптичного випромінювання

В нашому випадку оптична система містить наступні суміжні середовища: повітря ХСН, кварц.

Показники заломлення даних середовищ:

- повітря: $n = 1$;
- кварц: $n = 1,55$;
- ХСН: $n = 2,8$.

Розрахуємо втрати випромінювання в оптичному тракті по двом каналам τ_p – робочого каналу, τ_o – опорного каналу.

Першим переходом випромінювання є повітря-кварц, який повторюється двічі в зоні 1 і 4, тому даний коефіцієнт при загальному розрахунку до множимо на 2. Тоді τ_1 :

$$\tau_1 = 1 - \left(\frac{1.0 - 1.55}{1.0 + 1.55} \right)^2 = 0.954$$

В точці 2 промінь ділиться на два, це обумовлено технологією сполучення оптичних волокон та законом повного внутрішнього відбивання у оптичних матеріалах, маємо:

$$\tau_1 = 0,5$$

На виході із волокна знову маємо два суміжні середовища кварц-повітря (точка 3):

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{1.55 - 1.0}{1.55 + 1.0} \right)^2 = 0.954$$

Наступне оптичне середовище повітря – ХСН:

$$\tau_4 = 1 - \left(\frac{1.0 - 2.8}{1.0 + 2.8} \right)^2 = 0.775$$

Наступним суміжним середовищем є ХСН - повітря:

$$\tau_5 = 1 - \left(\frac{2.8 - 1.0}{2.8 + 1.0} \right)^2 = 0.775$$

Далі промінь попадає на фотодіод, походить через суміжне середовище кварц – повітря:

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{1.55 - 1.0}{1.55 + 1.0} \right)^2 = 0.954$$

Загальний коефіцієнт пропускання визначаємо як добуток всіх коефіцієнтів на перехідних середовищах:

$$\tau_p = (\tau_1)^2 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 \cdot \tau_6 = (0,954)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,954 \cdot 0,775 \cdot 0,775 \cdot 0,954 = 0,248 \text{ – для першого каналу.}$$

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_6 = 0,954 \cdot 0,5 \cdot 0,954 = 0,455 \text{ – для другого каналу.}$$

Визначимо потужність потоку випромінювання, що падає на площадку робочого фотодіода:

$$P_{\text{вих.р}} = P_{\text{вх}} \cdot \tau_p = 32,04 \cdot 0,248 = 7,946 \text{ мВт}$$

Визначимо потужність потоку випромінювання, що падає на площадку опорного фотодіода:

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{вих.о}} = P_{\text{вх}} \cdot \tau_o = 32,04 \cdot 0,455 = 14,578 \text{ мВт}$$

3.2.2 Розрахунок струму фотоприймача

Фотодіод перетворює потік оптичного випромінювання в електричний сигнал. Розрахуємо величину струму на виході фотодіода, за наступною методикою.

Вхідна формула для розрахунку струму фотодіода:

$$I_{\text{фд}} = \tau_o \cdot S^a(\lambda) \cdot P^a(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \quad (3.4)$$

Де $S^a(\lambda)$ – спектральний розподіл чутливості фотодіода в абсолютних одиницях [А/Вт];

$P^a(\lambda)$ – спектральна залежність випромінювальної здатності світлодіода а.о. [Вт];

$\tau(\lambda)$ – пропускання чутливого елемента датчика на робочій довжині хвилі;

τ_o – пропускання волоконно-оптичного тракту, вважаємо, що ця величина стала для даного датчика.

Даний вираз для діапазону від λ до $\lambda + d\lambda$ набуває вигляду:

$$I_{\text{фд}} = \tau_o \cdot S^a(\lambda) \cdot P^a(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \quad (3.5)$$

$$I_{\text{фд}} = \tau_o \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^a(\lambda) \cdot P^a(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda \quad (3.6)$$

Залежності $S^a(\lambda)$, $P^a(\lambda)$, в літературі не приводяться, частіше в довідниках по н/п приладах приводяться залежності [3]:

$$S^a(\lambda) = \frac{S^a(\lambda)}{S_m^a(\lambda_m)} \quad (3.7)$$

та

$$P^a(\lambda) = \frac{P^a(\lambda)}{P_m^a(\lambda_m)} \quad (3.8)$$

$S_m^a(\lambda_m)$, $P_m^a(\lambda_m)$ – максимальні значення чутливості S , і випромінювальної здатності P , фотодіода і світло діода на довжині хвилі λ_m .

Для знаходження струму фотодіода I_{ϕ} з (4) необхідно знайти $S^a(\lambda)$ і $P^a(\lambda)$. Знайдемо їх з (3.5) і (3.6), одержимо:

$$S^a(\lambda) = S^B(\lambda) \cdot S_m^a(\lambda_m) \quad (3.9)$$

та

$$P^a(\lambda) = P^B(\lambda) \cdot P_m^a(\lambda_m) \quad (3.10)$$

У вираз (3.6) підставимо вирази (3.9) і (3.10) та отримаємо:

$$I_{\phi d} = \tau_0 \cdot S_m^a(\lambda_m) \cdot P_m^a(\lambda_m) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^a(\lambda) \cdot P^a(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda \quad (4.11)$$

У виразах (3.7) і (3.8) величини $S_m(\lambda)$, $P_m(\lambda)$ також в довідниках не приводять. В літературі приводяться $S_{\text{інт}}$, $P_{\text{інт}}$ – інтегральні залежності чутливості фотодіода і випромінювальної здатності світлодіода, які представляють собою інтегральні величини в заданому діапазоні довжин хвиль. У нашому випадку $S_{\text{інт}}^a$, $P_{\text{інт}}^a$ – матимуть вигляд:

$$S_{\text{інт}}^a = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^a(\lambda) \cdot M(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M(\lambda) d\lambda} = S_m^a(\lambda_m) \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot M(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M(\lambda) d\lambda} \quad (3.12)$$

звідки

$$S_m^a(\lambda_m) = \frac{S_{\text{інт}}^a}{K_{\text{ачт}}} \quad (3.13)$$

де $K_{\text{ачт}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot M(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M(\lambda) d\lambda}$ – коефіцієнт використання абсолютно чорного тіла;

$$P_{\text{інт}} = P_m^a(\lambda_m) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda \quad (3.14)$$

тоді

$$P_m^a(\lambda_m) = \frac{P_{\text{інт}}^a}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} \quad (3.15)$$

Після підстановки проміжкових виразів загальна формула набуває вигляду:

$$I_{\phi d} = \tau_0 \frac{S_{\text{інт}}^a \cdot P_{\text{інт}}^a}{K_{\text{ачт}}} \cdot \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot P^B(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} \quad (3.16)$$

Позначимо вираз

$$k = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot P^B(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} \quad (3.17)$$

З врахуванням (3.17), (3.16) запишемо як:

$$I_{\text{фд}} = \tau_o \cdot S_{\text{інт}}^a \cdot P_{\text{інт}}^a \cdot k \quad (3.18)$$

де $S_{\text{інт}}^a$ – струмова інтегральна чутливість фотодіода. В нашому випадку для фотодіода (OPF432) складає:

$$S_{\text{ін}} = 0,55 \text{ A/Вт};$$

$P_{\text{інт}}^a$ – інтегральна випромінювальна здатність СД. В нашому випадку для лазерного світло діода (SD3324-002/BAА) складає:

$$P_{\text{ін}} = 200 \text{ мВт};$$

τ_o – пропускання волоконно-оптичного тракту. В нашому випадку для робочого каналу приладу складає:

$$\tau_o = 0,248.$$

Інтеграли у формулі знаходимо як площі, обмежені кривими $P(\lambda)$, $S(\lambda)$ і $\tau(\lambda)$ (рис.3.2,3.3,3.6).

З формули (3.17) коефіцієнт k буде змінюватися за рахунок зміни спектру пропускання скла $\text{As}_{45}\text{Se}_{55}$ при T_i , де i змінюється від 1 до 8. Тоді k_1 відповідає t_1 , $k_2 - t_2$ і т. д.

Тоді вираз (3.18) можна записати як:

$$I_{\text{фд}i} = \frac{\tau_o \cdot S_{\text{інт}}^a \cdot P_{\text{інт}}^a \cdot k_i}{k_{\text{АЧТ}}}, \text{ при } t_i \quad (3.19)$$

Знайдемо всі значення k_i , для кожного t_i :

$$k_1 = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S^B(\lambda) \cdot P^B(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P^B(\lambda) d\lambda} = 0,294$$

$$k_2 = 0,268, k_3 = 0,243, k_4 = 0,212, k_5 = 0,182, k_6 = 0,145, k_7 = 0,111, k_8 = 0,08.$$

Знайдемо значення $k_{\text{АЧТ}}$ з урахуванням робочої температури та довжини хвилі:

$$k_{\text{АЧТ}} = \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_3} S^B(\lambda) \cdot M^B(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} M^B(\lambda) d\lambda} = 0,854$$

За формулою (3.19) знайдемо струм фотодіода $I_{\text{фд}1}, I_{\text{фд}2} \dots I_{\text{фд}8}$:

$$I_{\text{фд}1} = \tau_o \cdot P_{\text{ін}} \cdot S_{\text{ін}} \cdot k_i / k_{\text{АЧТ}} = 0,247 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,55 \cdot 0,3 / 0,854 = 9,54 \cdot 10^{-3} \text{ А},$$

$$I_{\text{фд}2} = 8,53 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}3} = 8,05 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}4} = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}5} = 5,79 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}6} = 4,62 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}7} = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ А}, I_{\text{фд}8} = 2,54 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Знайдемо $I_{\text{фд}}$ для опорного фотодіода (ФД2). Так як даний канал є опорним, у ньому відсутній чутливий елемент ХСН, а отже струм на виході не залежить від температури.

Приймаємо значення коефіцієнта k рівним 1. За формулою (3.19) знайдемо значення $I_{\text{фд}}$ для опорного каналу, яке позначимо як $I_{\text{фдII}}$.

$$I_{\text{фдII}} = \tau_o \cdot P_{\text{ін}} \cdot S_{\text{ін}} \cdot k_i / k_{\text{АЧТ}} = 0,455 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,55 \cdot 1 / 0,854 = 58,6 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Перерахуємо напругу на виході фотодіода при навантаженні $R_{\text{н}} = 0,1 \text{ кОм}$ за формулою:

$$U_{\text{фд}} = I_{\text{фд}} \cdot R_{\text{н}} \quad (3.20)$$

$$U_{\text{фд}1} = I_{\text{фд}1} \cdot R_{\text{н}} = 9,54 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2 = 0,95 \text{ В};$$

$$U_{\text{фд}2} = 0,85 \text{ В}; U_{\text{фд}3} = 0,81 \text{ В}; U_{\text{фд}4} = 0,68 \text{ В}; U_{\text{фд}5} = 0,58 \text{ В}; U_{\text{фд}6} = 0,46 \text{ В}; U_{\text{фд}7} = 0,35 \text{ В}; U_{\text{фд}8} = 0,25 \text{ В}.$$

Знайдемо $U_{\text{фд}}$ для другого фотодіода (опорний канал) при навантаженні $R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом}$, позначимо її через $U_{\text{фдII}}$.

$$\text{Тоді } U_{\text{фдII}} = I_{\text{фдII}} \cdot R_{\text{н}} = 58,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,59 \text{ В}.$$

3.2.3 Спрощений розрахунок струму фотодіода

У якості джерела випромінювання використовується лазерний світло діод з вузьким спектром випромінювання, тобто джерело випромінювання є монохроматичним. На рис. 3.8 представлена зведена спектральна характеристика джерела та приймача випромінювання.

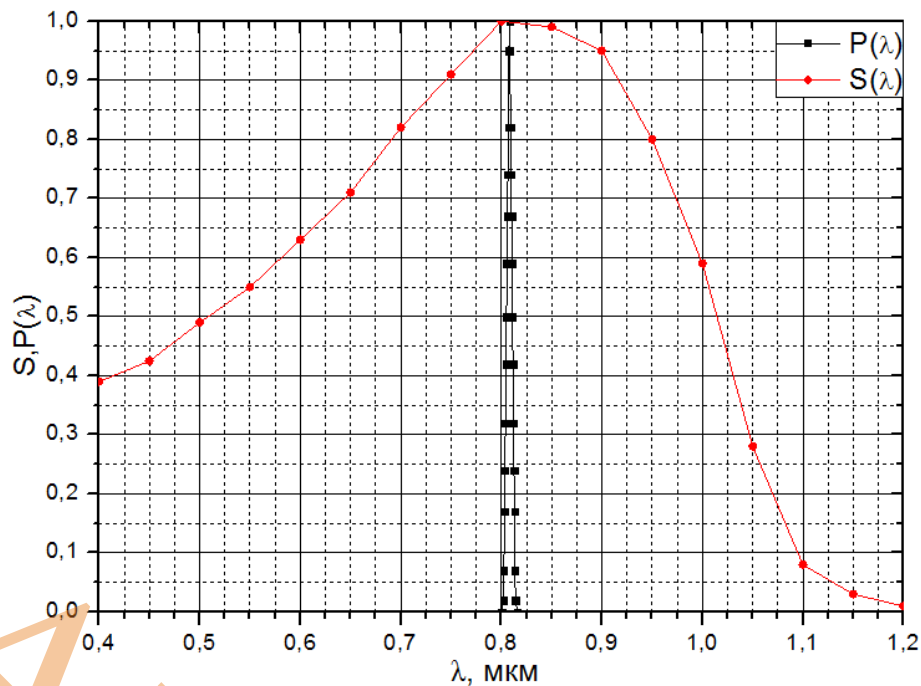


рис.3.4 Відносна спектральна випромінювальна здатність СД $P(\lambda)$, та чутливість ФД $S(\lambda)$

З рис.3.8 видно, що максимум чутливості приймача випромінювання ФД співпадає з максимумом випромінювальної здатності СФ. Згідно з цим виконаємо спрощення розрахунку струму фотодіода, знехтувавши коефіцієнтами нормування k_i та $k_{\text{АЧТ}}$. Натомість введемо коефіцієнт пропускання ХСН залежно від температури $\tau(t)$. Тоді вираз для визначення струму ФД набуває вигляду:

$$I_{\text{фд}i} = \tau_0 \cdot S_{\text{інт}}^a \cdot P_{\text{інт}}^a \cdot \tau(t) \quad (3.21)$$

За формулою (21) знайдемо струм фотодіода $I_{\text{фд}1}, I_{\text{фд}2} \dots I_{\text{фд}8}$:

$$I_{\text{фд}1} = \tau_0 \cdot P_{\text{ін}} \cdot S_{\text{ін}} \cdot \tau(t_1) = 0,247 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 0,55 \cdot 0,35 = 9,51 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$I_{\text{фд}2} = 8,83 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}3} = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}4} = 7,07 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}5} = 6,11 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}6} = 4,89 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}7} = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{\text{фд}8} = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

Побудуємо графік залежності $I_{\text{фд}i}$ від T_i для обох способів розрахунку:

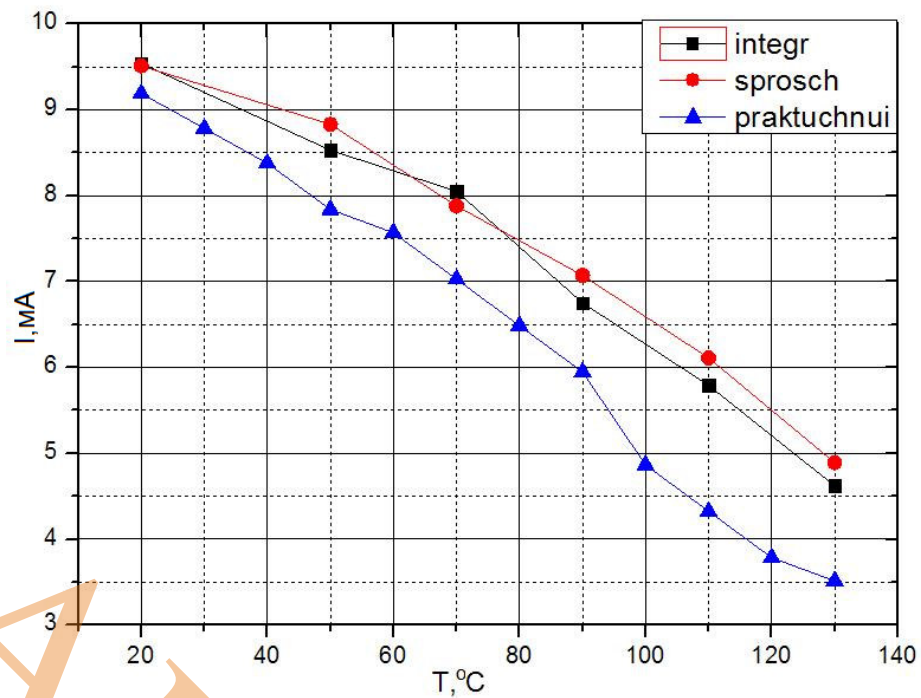


Рис.3.9 Залежність зміни струму фотодіода від зміни температури чутливого елемента ХСН датчика температури за двома способами розрахунку та для робочого приладу.

3.3 Розробка схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури

3.3.1 Розробка структурної схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури

Розроблена схема обробки аналогового сигналу, яка представлена на рис.3.10 повинна забезпечити:

Стабільність роботи приладу

Достатню точність вимірювання необхідного параметру

Вихідний сигнал на рівні ТТЛ логіки

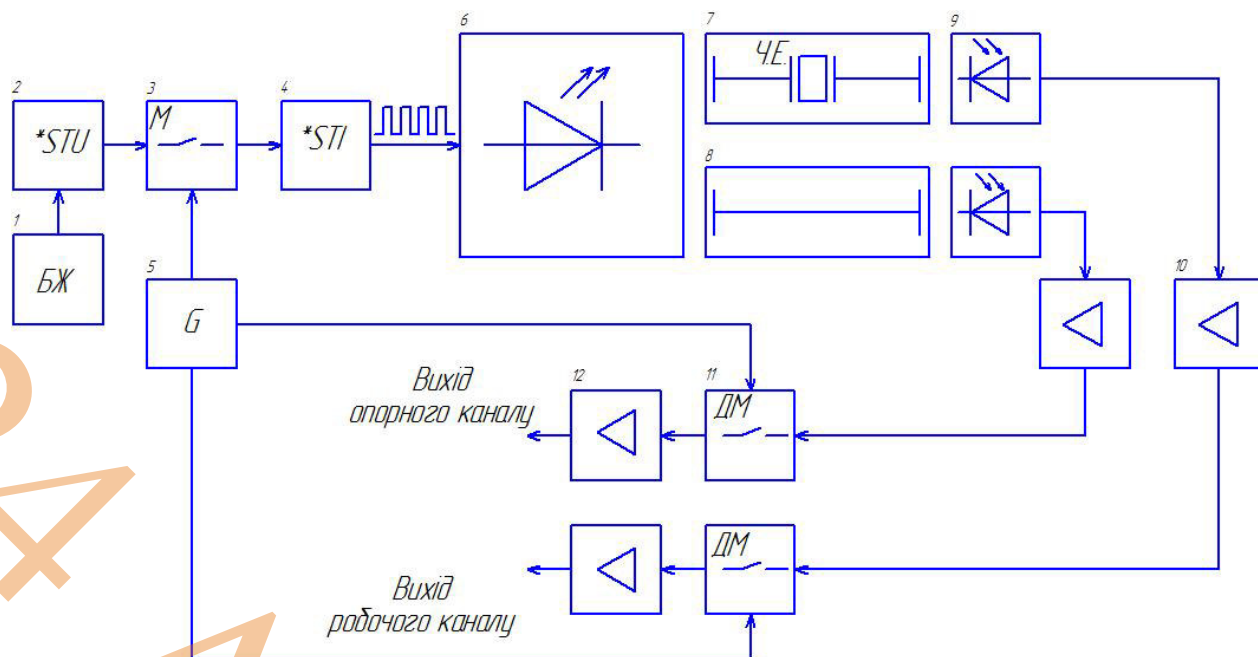


Рис.3.10 Структурна схема двоканального оптоволоконного датчика температури

1 – блок живлення; 2 – стабілізатор напруги; 3 – модулятор; 4 – стабілізатор струму; 5 – генератор; 6 – лазерний світлодіод; 7 – оптоволокну з чутливим елементом; 8 – оптичне волокно; 9 – фотодіод; 10 – підсилювач; 11 – демодулятор; 12 – повторювач напруги.

Дана структурна схеми реалізована на принциповій схемі з використання сучасних елементів технології Surface Mount Technology (далі SMT). Принципова схема даного вузла зображена на рис.6.2. Принцип роботи даної схеми наступний. Випромінювання від світлодіода входить в оптичне волокно де потім розділяється на два канали – робочий (із чутливим елементом) та опорний. Випромінювання приймають два окремі фотодіоди, сигнал з яких підсилюєть за допомогою схеми перетворювача струм-напруга, зібраного на мікросхемі DA3. Тут сигнал підсилюється до необхідного рівня (ТТЛ логіка 0-5В).

3.3.2 Розробка принципової електричної схеми первинного вимірювального перетворювача волоконно-оптичного вимірювача температури

На основі запропонованої структурної схеми рис.3.10, розроблено електричну принципову схему рис.3.11 для проектного ПВП ВОДТ.

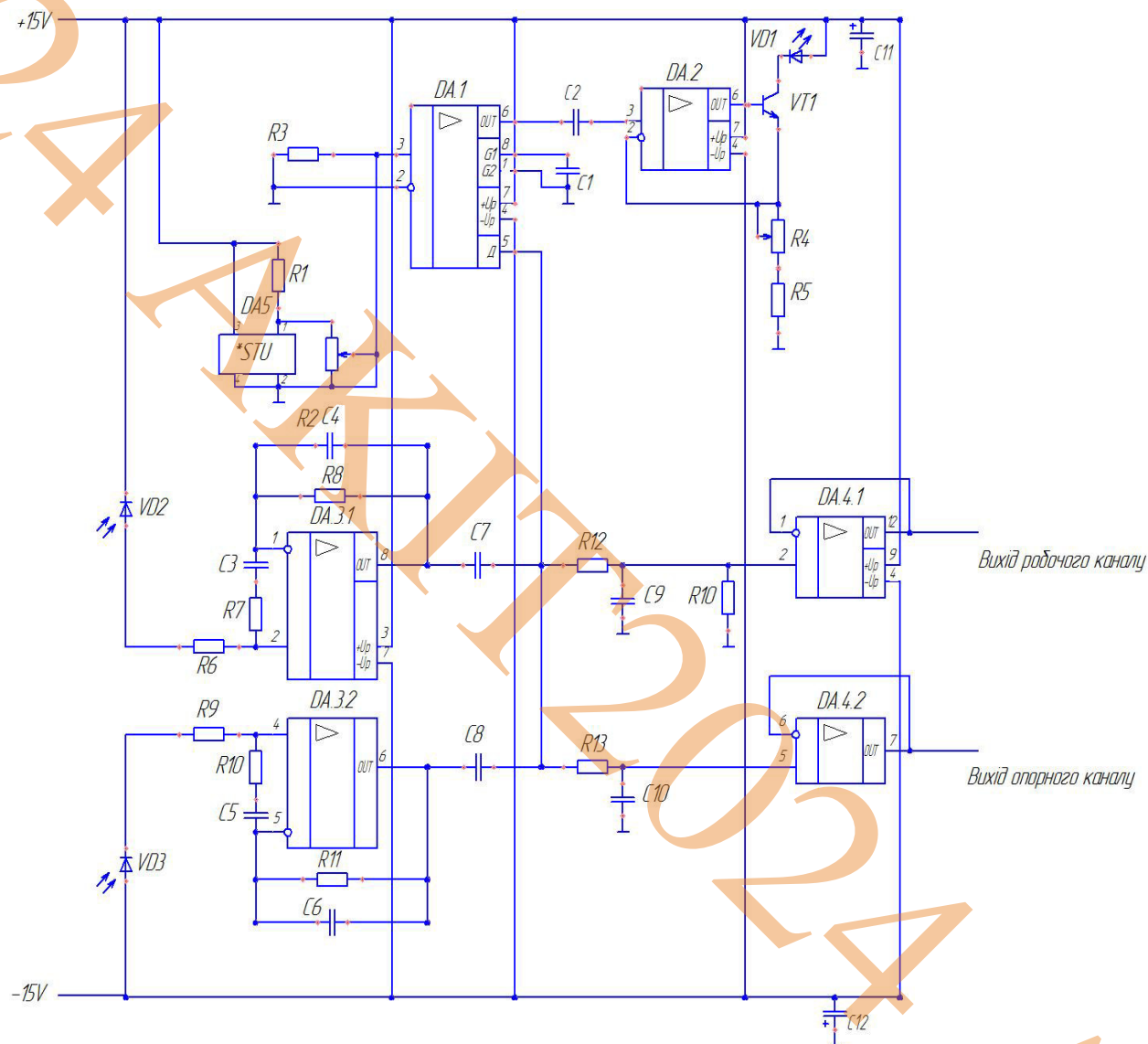


Рис.3.11 Принципова електрична схема двоканального оптиковолокноного датчика температури

Модуляція і демодуляція сигнал виконується за допомогою МДМ (модулятор-демодулятор) підсилювача DA1. На рис.6.3 представлена його структурна схема.

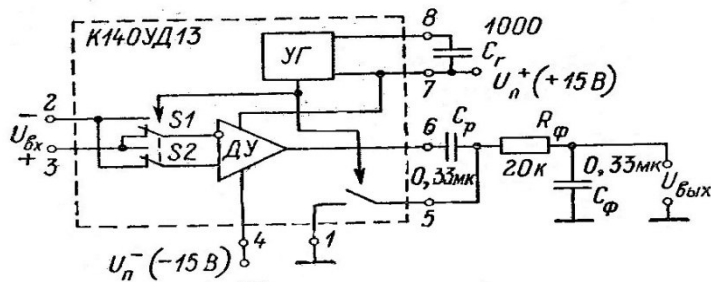


Рис.3.12 Схема підсилювача МДМ К140УД13 [2]

Завдяки періодичному перемикаю перемикачів S1, S2 полярність напруги, що приходить до входу ДУ, періодично змінюється. Таким чином виконується перероблення повільно змінюючого входного сигналу $U_{вх}$ у змінну прямокутну напругу, частота якого задається генератором управління. Змінна напруга підсилюється диференціальним підсилювачем (ДУ) і далі перетворюється демодулятором $C_p, S3$ в пульсуючу напругу, середнє значення якої представляє собою підсилений сигнал з ДУ. Демодулятор працює наступним чином. В один на півперіод управляючої напруги генератора УГ, ключ S3 замкнутий і конденсатор заряджається до амплітуди напруги, існуючої в цьому часі на виході ДУ. На вході фільтра низьких частот в цей момент напруга рівна нулю. В наступний півперіод ключ розмикається і на вхід фільтра поступає напруга зі виходу ДУ, зміщена на постійне значення, запам'ятоване конденсатором C_p . Таким чином на вхід фільтра поступають імпульси, амплітуда яких рівна розмаху прямокутної напруги.

Трьохвимірна модель розробленої друкованої плати представлена на рис.3.13

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ

Арк.

48

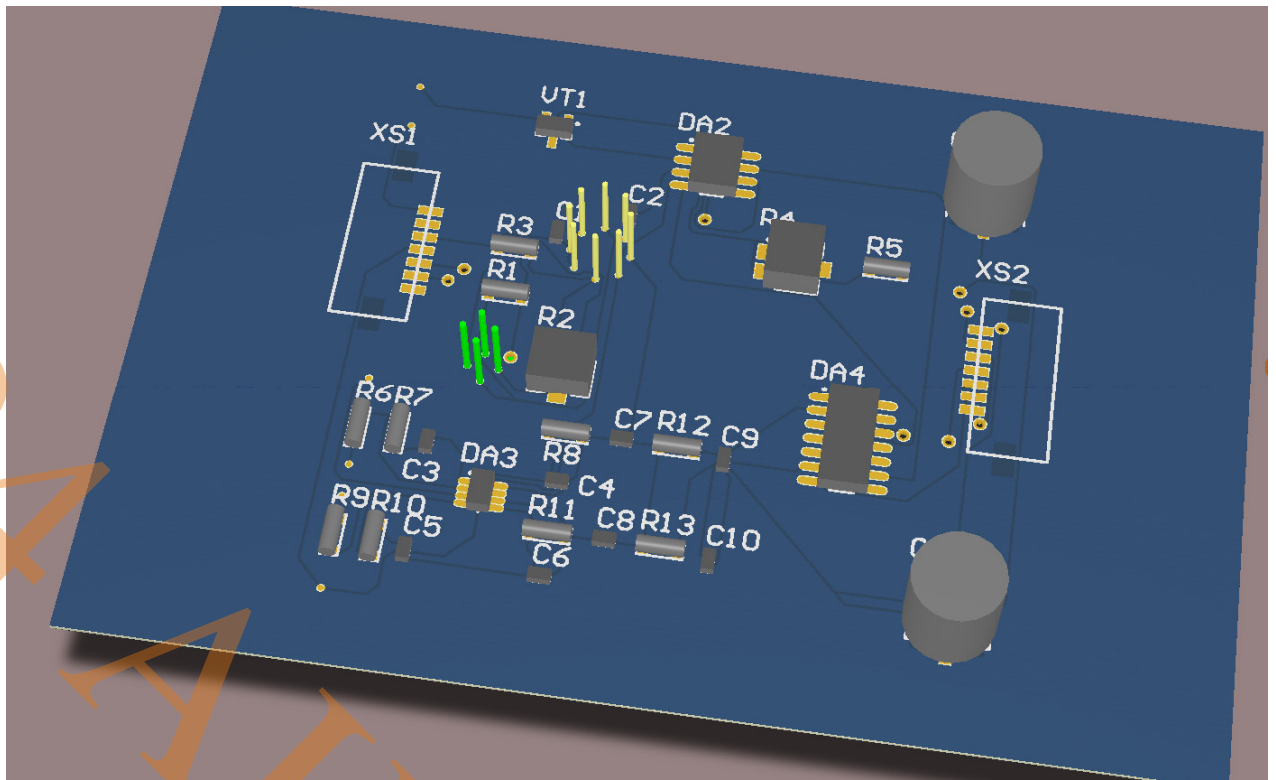


Рис.3.13 Трьохвимірна модель розробленого друкованого вузла

3.4 Розробка схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури

3.4.1 Розробка структурної схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури

Для забезпечення числової індикації вимірної температури блоку розроблено схему блоку індикації на основі мікроконтролера сімейства PIC. Структурна схема блоку індикації приведена на рис.3.14

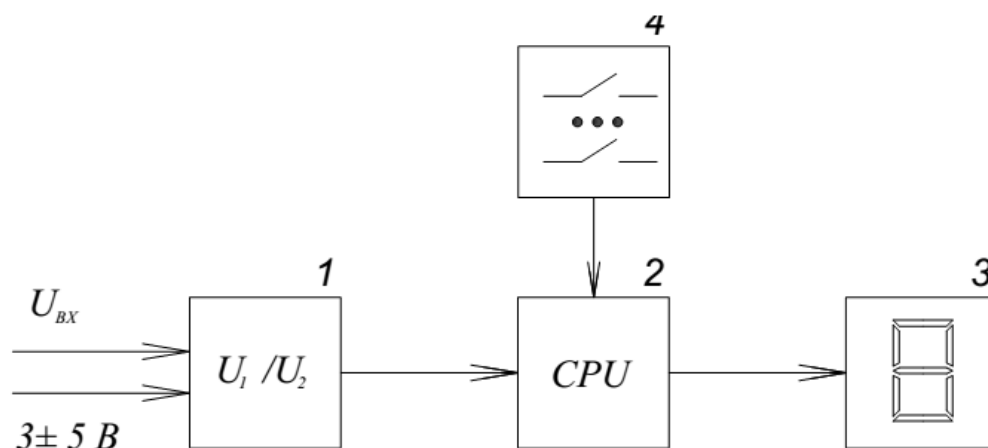


рис.3.14 Структурна схема блоку індикації ВОДТ

Структурна схема складається з наступних вузлів: 1) аналоговий подільник вхідних сигналів 2) мікроконтролер обробки інформації; 3 індикатор; 4) елементи управління.

3.4.2 Розробка електричної **принципової** схеми індикації волоконно-оптичного вимірювача температури

Відповідно до структурної схеми індикації ВОДТ побудовано відповідну електричну принципову схему. Розроблена схема блоку індикації приведена на рис.3.15

Даний вузол складається з мікроконтроллера PIC16F676 і рідкокристалічного індикатора TIC9162.

Дев'яти розрядний семи сегментний рідкокристалічний індикатор TIC9162, виконаний за COG-технологією, аналогічний індикатору TIC55. Цей індикатор відрізняється від відомих LCD-індикаторів з драйверами типу HD44780 малою товщиною (всього 3 мм), Малим споживаним струмом та управлінням послідовним синхронним кодом. COG (Chip on Glass) - це технологія, за якою

кристал драйвера РКІ монтується в склі, звідси і малі розміри, і невелике число виходів.

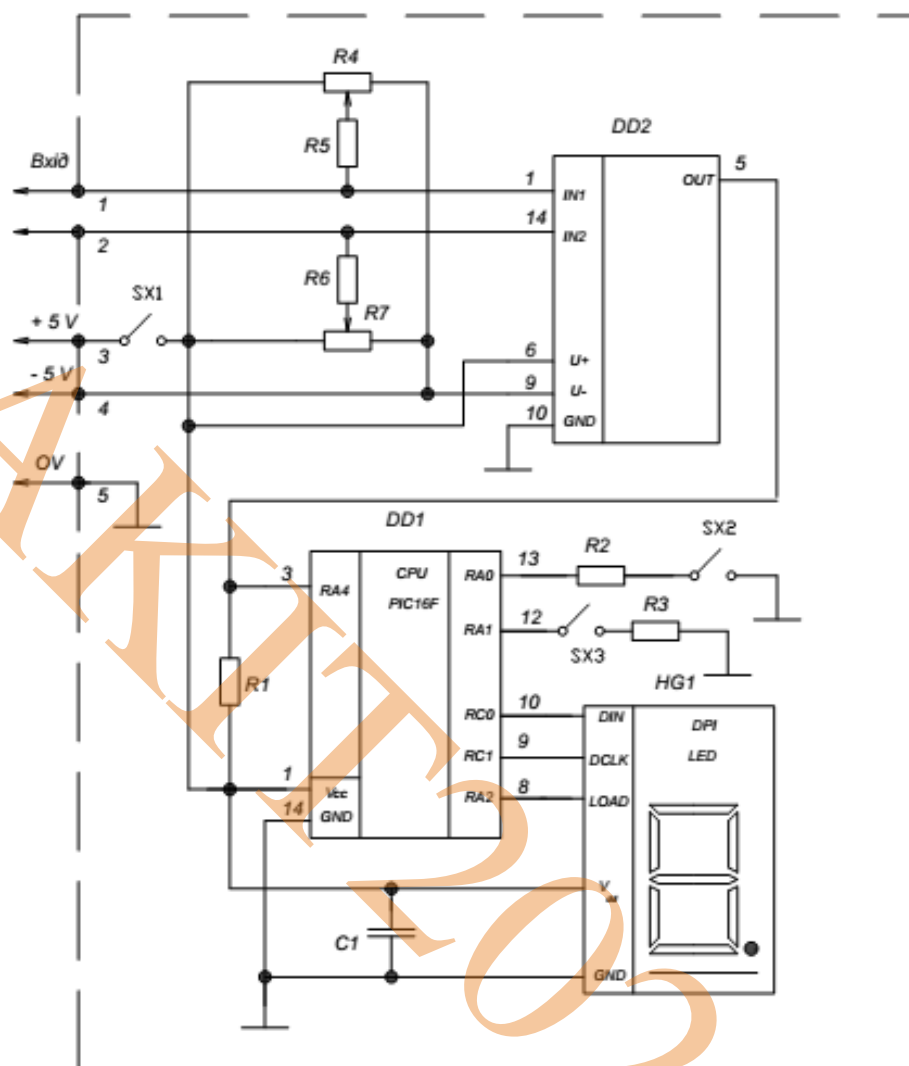


рис.3.15 Електрична принципова схема блоку індикації ВОДТ

Для управління індикатором використовується всього три виходи мікроконтролера. По лінії даних DIN подаються рівні стану сегментів індикатора. При цьому одиничний рівень включає сегмент, а нульовий - гасить. По лінії DCLK подаються поодинокі синхроімпульси, а по лінії LOAD - нульовий імпульс дозволу записи. Число синхроімпульсів має дорівнювати числу сегментів індикатора (у нашому випадку - 80).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ

В індикаторі ТІС9162 чотири крайніх зліва і справа розряди мають курсори (риска під розрядом), а середній розряд курсору не має. У табл. 3.1 представлена послідовність імпульсів для включення сегментів в індикаторі ТІС9162.

Таблиця 3.1. Послідовність імпульсів для включення сегментів ТІС9162

Разряд	Н	С	В	А	Р	Р	Е	Д	К
1	1	2	3	4	5	6	7	8	10
2	9	11	12	13	14	15	16	17	19
3	18	20	21	22	23	24	25	26	28
4	27	29	30	31	32	33	34	35	37
5	36	38	39	40	41	42	43	44	—
6	45	47	48	49	50	51	52	53	46
7	54	56	57	58	59	60	61	62	55
8	63	65	66	67	68	69	70	71	64
9	72	74	75	76	77	78	79	80	73

Як видно з табл. 3.1, послідовність включення курсору (К) і коми (Н) вибрана не зовсім вдало. При комбінуванні можливих поєднань була знайдена найкраща комбінація чергування імпульсів управління індикатором, представлена в табл. 3.2. У такому вигляді послідовність імпульсів набуває осмисленого виду. Тепер нульовий розряд регістра керування заповнюється значенням курсору, а після виведення на індикацію значення кожного регістру виводиться значення однієї коми. Після дев'ятого регістра кома не виводиться.

Таблиця 3.2. Послідовність імпульсів для управління індикатором ТІС9162

<i>Імпульси</i> <i>Розряд</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	H	C	B	A	F	G	E	D	H/2
2	K/1	C	B	A	F	G	E	D	H/3
3	K/2	C	B	A	F	G	E	D	H/4
4	K/3	C	B	A	F	G	E	D	H/5
5	K/4	C	B	A	F	G	E	D	H/6
6	K	C	B	A	F	G	E	D	H/7
7	K	C	B	A	F	G	E	D	H/8
8	K	C	B	A	F	G	E	D	H/9
9	K	C	B	A	F	G	E	D	—

3.5 Розрахунки по проектуванню друкованої плати

Вихідними документами є ТЗ, принципова електрична схема вузла МР ПБ 090671 ЭЗ та перелік документів до неї.

Термометр волоконно-оптичний повинен бути виконаний як закінчений вузол та експлуатуватися у приміщеннях як у нормальних умовах. Тому доцільно використати для плати друкованої фольгований матеріал на основі склотекстоліту товщиною 1,5мм. Взявши до уваги що друкований вузол розроблявся за сучасними технологіями з використанням потужних САПР сітка на друкованій платі відсутня, а елементи розроблялись за зарубіжними стандартами – тобто використовувалася дюймова система розмірів елементів та відстаней між ними.

Розрахунок площі монтажної зони S_m для високої густини монтажу виконаємо на основі формули:

$$S_m = 4S_{mg} + 3S_{sg} + 1,2S_{kg} \quad (3.22)$$

де S_{mg} , S_{sg} , S_{kg} відповідно сумарні установчі площі малогабаритних (всі мініатюрні елементи), середньо габаритні (МС у прямокутних корпусах, постійні опори вище 0,5 Вт, конденсатори у круглих корпусах і т. д.) та крупно габаритні (трансформатор, напівпровідникові прилади на радіаторах і т.д.).

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ, варіанти встановлення їх комбінованим способом (планарний та наскрізний монтаж), а також розміри виводів елементів приведені у табл.3.3[3]. Площа монтажно́ї зони згідно (3.22) $S_m=2684\text{мм}^2$.

Додавши до даної площі додатково необхідну відстань для монтажних отворів, і привевши загальну площу ДП до рекомендованих розмірів отримана плата розмірами 60X90мм.

Розрахунок отворів, ширини провідного рисунка виконаємо для плати друкованої третього класу точності згідно ГОСТ 23751-75.

Для визначення розмірів отворів плати друкованої під виводи елементів необхідно знайти еквівалентні діаметри $d_{\text{екв}}$ виводів з прямокутним перерізом.

Враховуючи допуски на розміри ЕРЕ, необхідність вільного проходження виводів у монтажних отворах, діаметри отворів повинні бути на 0,2-0,3 мм більшими від розрахованих. Згідно ОСТ 4.010.010-78 рекомендується також обмеження номенклатури діаметрів отворів - 0,9; 1,2; 1,5 мм, що підвищує технологічність монтажних процесів. Тому обмежимося двома розмірами - 0,9; 1,2 мм.

Кріплення плати друкованої передбачається під гвинт 1М3, а діаметр отвору до них - $d = 3,2 h 14$.

Таблиця 3.3 Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Категорія установчих площ	Елементи та їх тип	Варіант установки за ОСГ4.0ШЗО-81	Діаметр виводу, мм	Установча площа одного елемента, мм ²	Кількість, шт.	Установча площа одиничних елементів, мм ²
iSMT	Резистори R1,R3,R5-R14			5,04	12	60,48
	Резистори R2,R4			26	2	52
	Конденсатори C1-C3,C5,C7-C10			1,28	8	10,24
	Конденсатори C4,C6			0,5	2	1
	Конденсатори C11,C12			47,52	2	95,04
	Транзистор VT1			6,96	1	6,96
	Мікросхема MC1747			51,9	1	51,9
	Мікросхема TL083			8,12	1	8,12
	Мікросхема OP-07			19,11	1	19,11
	Мікросхема K140 УД13		0,5	19,625	1	19,625
	Мікросхема LM199		0,5	6,45	1	6,45
	Світлодіод VD1		0,5	34,19	1	34,19
	Фотодіоди VD2,VD3		0,5	71,22	2	142,44
Всього						2030
Scg	Роз'єднувачі SA1,SA2			109	2	218
Всього						218

Для покращення паяльності передбачається поверхню провідного рисунку, контактних площинок покрити сплавом Розе ТУ6-0.9406Г-88.

Матеріали плати друкованої - Сф-2-35Г-1,5 ГОСТ 1016-78.

Розрахунок мінімального діаметра контактної площинки D навколо отвору проведемо за формулою (ГОСТ 23751-75):

$$D = (d + \Delta d_{bb}) + 2b_m + \Delta t_{bb} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{mb}^2)^{0,5} \quad (3.23)$$

де d - номінальне значення діаметрів монтажного отвору;

Δd_{bb} - верхнє граничне відхилення діаметру контактної площини;

b_m - гарантійний поясок на зовнішньому шарі;

Δt_{bb} - верхнє граничне відхилення ширини провідника;

δd - допуск на розташування отворів;

δp - допуск на розташування контактних площинок;

Δt_{mb} - нижнє граничне відхилення ширини провідника.

Для плати друкованої 3 класу точності з покриттям:

$$\Delta d_{BB} = 0,05 \text{ мм}; \quad \Delta t_{HB} = -0,03 \text{ мм};$$

$$b_H = 0,05 \text{ мм}; \quad \delta p = 0,15 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{BB} = 0,03 \text{ мм}; \quad \delta d = 0,08 \text{ мм};$$

Для отвору $d = 0,9$ мм мінімальний діаметр контактної площини $D_{0,9}$ рівний:

$$D_{0,9} = (0,90 + 0,05) + 2 * 0,05 + 0,03 + (0,08^2 + 0,3^2 + (-0,03)^2)^{0,5} = 1,13 \text{ мм}.$$

Для отвору з $d = 1,2$ мм:

$$D_{1,2} = (0,90 + 0,05) + 2 * 0,05 + 0,03 + (0,08^2 + 0,3^2 + (-0,03)^2)^{0,5} = 1,43 \text{ мм}.$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідників для плати друкованої 3 класу точності $t = 0,25$ мм, а допуск на ширину провідників Δt з покриттям $\Delta t = 0,00^{+0,10}$ мм.

Згідно з ГОСТ 23751-75 для відстані між елементами провідного рисунка від 0,1 до 0,2 мм включно для фольгованого склотекстоліту значення допустимої робочої напруги $U_{роб} \leq 25B$.

Не дивлячись на те, що запас міцності за напругою n_u :

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$n_u = \frac{U_{роб}}{U_{роб\max}} = \frac{25}{15} = 1.7 раз \quad (3.24)$$

де $U_{роб\max}$ - максимальне значення робочої напруги пристрою управління, рівне напрузі живлення, доцільно у вузьких місцях збільшити $S_{\min}$ до 0,35 мм для виключення утворення перемичок під час проведення електромонтажних робіт.

Для 3-го класу точності мінімальна площа поперечного перерізу провідного рисунку S:

$$S = (t - \Delta t)h = (0,25 - 0,1)0,035 = 0,0053 \text{ мм}^2$$

де h - товщина фольги, яка рівна 35 мкм.

Максимальний струм споживання $I_{\max}$ складає 0,305А, тому максимальна щільність струму $J_{\max}$ через провідники друковані:

$$J_{\max} = \frac{I_{\max}}{S} = \frac{0,305}{0,053} \approx 56 \text{ А / мм}^2 \quad (2.25)$$

Допустима щільність струму для фольги $J_{\text{доп}}$ від 100 до 250 А/мм² (ГОСТ 23751-75). Запас міцності за струмом n_j :

$$n_j = \frac{J_{\text{доп}}}{J_{\max}} = \frac{100}{25} = 4 \gg 1, \quad (3.26)$$

що вказує на правильність проведеного конструювання.

3.6 Розрахунок оцінки показників надійності елементів РЕА

Метою проведення розрахунків з надійності при виконанні курсового проекту з дисципліни "Проектування РЕА" та у відповідному розділі дипломного

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проекту є оцінка імовірності безвідмовної роботи об'єкта проектування за визначений час наробітку і значення середнього наробітку на відмову.

При курсовому проектуванні доцільно користуватись "лямбда-методом", який є найбільш простим розрахунковим підходом і використовує специфікації всіх елементів та дані про їх відмови (таблиці значень інтенсивності відмов λ_0 кожного з радіо компонентів). Одночасно цей метод дає змогу оцінити чи задовольняють прийняті схемо технічні рішення технічному завданню (ТЗ), визначити причини найбільшої інтенсивності відмов, вірно прогнозувати склад комплектів ЗІП.

Прогнозування надійності з використанням "лямбда-методу" дає істотне покращення показників надійності (в першу чергу середнього наробітку до відмови) при великій кількості елементів і в той же час не вимагає проведення експлуатаційних випробувань.

Імовірність безвідмовної роботи (ІБР) - імовірність того, що протягом заданого наробітку відмови об'єкта не виникне. Звичайно вважають, що на початку інтервалу часу чи наробітку об'єкт у змозі виконувати потрібні функції. Із цього визначення випливає, що конкретне числове значення ІБР має певний зміст лише тоді, коли воно поставлене у відповідність заданому часу наробітку. При цьому під наробітком розуміють тривалість чи обсяг роботи об'єкта. Наробіток може бути як неперервною величиною (тривалість роботи в годинах), і цілочисельною величиною (кількість робочих циклів, запусків тощо).

Другий показник, середній наробіток до відмови - представляє собою математичне сподівання наробітку об'єкту до першої відмови.

Розрахунок показників надійності об'єкта проектування в цілому дає змогу виконати оцінку принципової можливості забезпечення радіоелектронним виробам заданих вимог з безвідмовної роботи, знаходження "слабих" з точки зору надійності комплектуючих елементів, розробки заходів по конкретному

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищенню умов безвідмовного наробітку, визначення номенклатури радіоелементів і компонентів, якими має комплектуватись ЗІП до даного виробу РЕА.

Для виконання розрахунків з надійності необхідно використати наступні вихідні дані електричного розрахунку об'єкта проектування та довідникові матеріали:

- принципову електричну схему (ЕЗ) та перелік елементів (ПЕЗ) до цієї схеми;
- карту режимів роботи активних і пасивних радіоелементів, які входять до принципової електричної схеми;
- довідникові матеріали з інтенсивностями відмов радіоелектронних компонентів λ_0 , приведеними до режиму номінальних електричних навантажень і нормальних умов експлуатації;
- довідникові матеріали, що дозволяють враховувати вплив електричного режиму, температури і зовнішніх факторів на інтенсивність відмов.

Вихідною величиною для проведення розрахунків з надійності приймається параметр надійності елементів схем РЕА - інтенсивність відмов 1.

Інтенсивність відмов (ІВ) - це умовна густина імовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтуємих і не відновлюваних об'єктів.

При аналізі відмов важливо знати етап життєвого цикла виробу РЕА і з'ясувати першопричину виникнення відмов. В цьому зв'язку розрізняють наступні види відмов: конструкційні, виробничі і експлуатаційні.

Конструкційні відмови виникають в результаті помилок або порушень правил і норм конструювання в період розробки, тобто після ідентифікації такої відмови

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинні бути прийняті відповідні заходи по доробці конструкції, при яких виключається виникнення таких відмов у подальшому.

Під виробничими умовами розуміють відмови елементів, вузлів і блоків в результаті недосконалості процесу виготовлення або порушення технології виготовлення.

Експлуатаційні відмови пов'язані з конкретними умовами використання виробів РЕА. Такі відмови обумовлені зовнішніми факторами, які по інтенсивності перевищують межі, що допускаються технічними умовами. Крім того, відмови при експлуатації можуть бути викликані порушеннями з боку обслуговуючого персоналу правил та інструкцій по експлуатації, правил профілактики, ремонту.

Розрахункова сумарна інтенсивність відмов кожного з і-типів елементів принципової електричної схеми визначається за умови незалежності відмов елементів за наступною формулою:

$$\lambda_{i\Sigma} = \lambda_{i0} \cdot n \cdot k_e \cdot k_{tn} \cdot 10^{-8} [\text{год}^{-1}], \quad (3.27)$$

де λ_{i0} - інтенсивність відмов елементів і-типу, отримана при випробуваннях в режимі номінального електричного навантаження і нормальних зовнішніх умовах експлуатації;

n - кількість однакових елементів і-типу;

k_e - експлуатаційний поправочний коефіцієнт для перерахунку ІВ елементів при фактичних умовах експлуатації;

k_{tn} - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив електричного режиму (через коефіцієнт електричного навантаження k_n) і температури елемента (або оточуючого повітря) на зміну табличних значень ІВ.

Експлуатаційний поправочний коефіцієнт k_e для перерахунку ІВ елементів при фактичних умовах експлуатації через λ_{i0} можливо оцінити за формулою:

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_e = k_H * k_u * k_{a.m.}, \quad (3.28)$$

k_H - поправочний коефіцієнт, що враховує дію механічних факторів (вібрації, ударні навантаження, сумарні дії механічних навантажень)

(див. таблицю 3-Д)[4];

k_u - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив вологості і температури (див. таблицю 4-Д)[4];

$k_{a.m.}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує дію атмосферного тиску (див. таблицю 5-Д)[4].

Поправочний коефіцієнт $k_{тн}$, який враховує вплив електричного режиму і температури, визначається шляхом табличного нормування (див. таблицю 6-Д)[4] значень коефіцієнта електричного навантаження k_H , який розраховується за методикою.

Для визначення коефіцієнта k_H необхідно скласти звітну таблицю 3 "Карта робочих режимів...". Ця таблиця заповнюється на кожний елемент схеми. В якості чисельних критеріїв електричного розрахунку режимів навантаження виступають коефіцієнти:

k_u - коефіцієнт навантаження по напрузі;

k_p - коефіцієнт навантаження по потужності;

k_i - коефіцієнт навантаження по струму.

Практично значення k_u , k_i і k_p розраховуються за наступними узагальненими виразами:

$$k_A = \frac{\text{Виміряне значення } A}{\text{Допустиме за ТУ значення } A} \quad (3.29)$$

або

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_A = \frac{\text{Розраховане значення } A}{\text{Допустиме за ТУ значення } A} \quad (3.30)$$

де A - назва параметра (U , I , P), за яким оцінюється відповідний коефіцієнт навантаження.

Слід відмітити, що коефіцієнт k_A може розраховуватись як на змінному ($k_A^{\sim}$) так і на постійному струмі (k_A^-). В цьому випадку узагальнений коефіцієнт k_A буде визначатися добутком:

$$k_A = k_A^{\sim} * k_A^- \quad (3.31)$$

Узагальнене значення k_H , яке враховує режими навантаження по всім електричним параметрам, визначається за формулою:

$$k_H = k_u * k_i * k_p \quad (3.32)$$

Таким чином алгоритм визначення коефіцієнта навантаження k_H , вимагає не тільки повного електричного розрахунку всіх елементів схеми, але й практично вимірної карти напруг і струмів (в режимах постійного і змінного струмів).

У випадку відсутності поправочних коефіцієнтів для визначення k_{th} і k_e для певних груп елементів в довідникових таблицях, їх значення умовно приймається рівним одиниці.

Сумарна інтенсивність відмов для всіх елементів, які входять до принципової схеми, розраховується за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \lambda_{i\Sigma} [год^{-1}] \quad (3.33)$$

$i = 1 \dots m$ - кількість різних типів елементів, які входять до схеми.

Величина CHB визначається в цьому випадку через λ_{Σ} наступним чином:

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} [\text{год}] \quad (3.34)$$

а значення ІБР можливо оцінити за виразом:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t} \approx 1 - \lambda_{\Sigma} \cdot t \quad (3.35)$$

де t - заданий в ТЗ час наробітку (як правило, 1000 або 2000 год). Розраховані значення $P(t)$ і T для об'єкта проектування порівнюють з відповідними показниками надійності аналогічних виробів і роблять висновки стосовно рівня надійності розробленої конструкції.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 Показники надійності елементів вузла аналогової обробки

№ № п/п	Найменування і типомінали елементів	п, штук	$\lambda_0, *10^{-8}$ год ⁻¹	k_E	$\Theta, ^\circ\text{C}$	k_H	$\lambda, *10^{-8}$ год ⁻¹
1	C1 1нФ-50В-±20% Murata	1	5,0	1	30	0,61	6
2	C2,C7-C10 0.33мкФ-50В-±20% Murata	5	5,0	1	30	0,89	4,1
3	C3,C5 47нФ-50В-±20% Murata	2	5,0	1	30	0,8	8,2
4	C4,C6 4.7нФ-50В-±20% Murata	2	5,0	1	30	0,33	15
5	C11,C12 100мкФ-25В-±20%Nippon	2	6,0	1	30	0,68	4,7
6	DA1 K140УД13	1	44	1	30	1	44
7	DA2 OP07 Analog devices	1	18	1	30	1	18
8	DA TL083 Texas instruments	1	18	1	30	1	18
9	DA4 MC1741 Motorola	1	18	1	30	1	18
10	DA5 LM199 Texas instruments	1	20	1	30	0,5	20
11	R1 0.5-7.5k±1% Vishay	1	2,2	1	30	0,08	0,6
12	R3,R14 0.5-100k±1% Vishay	2	2,2	1	30	0,08	0,6
13	R2,R4 0.5-100±20% Bi technologies	2	2,2	1	30	0,08	0,6
14	R5 0.5-27±1% Vishay	1		1	30	0,08	0,6
15	R6,R9 0.5-5k±1% Vishay	2	2,2	1	30	0,08	0,6
16	R7,R10 0.5-300±1% Vishay	2	2,2	1	30	0,08	0,6
17	R8,R11 0.5-3k±1% Vishay	2	2,2	1	30	0,08	0,6
18	R12,R13 MMA0204-0.5-20k±1% Vishay	2	2,2	1	30	0,08	0,6
19	VD1 WSLP-808-180m-M Wave spectrum	1	20	1	30	0,5	17,6
20	VD2,VD3 SD3324-002/BAA Honeywell	2	32	1	30	0,5	140,8
21	VT1 FMMT497 Zetex semiconductors	1	70	1	30	0,43	31,5
22	XS1,XP1 MTA-50 IDC Tyco electronics	2	1,4	1	30	1	1,4
	Пайки	124	1	1	30	1	40
	Разом						360,1
T = 277700 год							
P(1000) = 0,996							

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Огляд конструкцій корпусів сучасних вимірювачів

BOX-FB01 Корпус пластмасовий 66x60x23 мм [1].

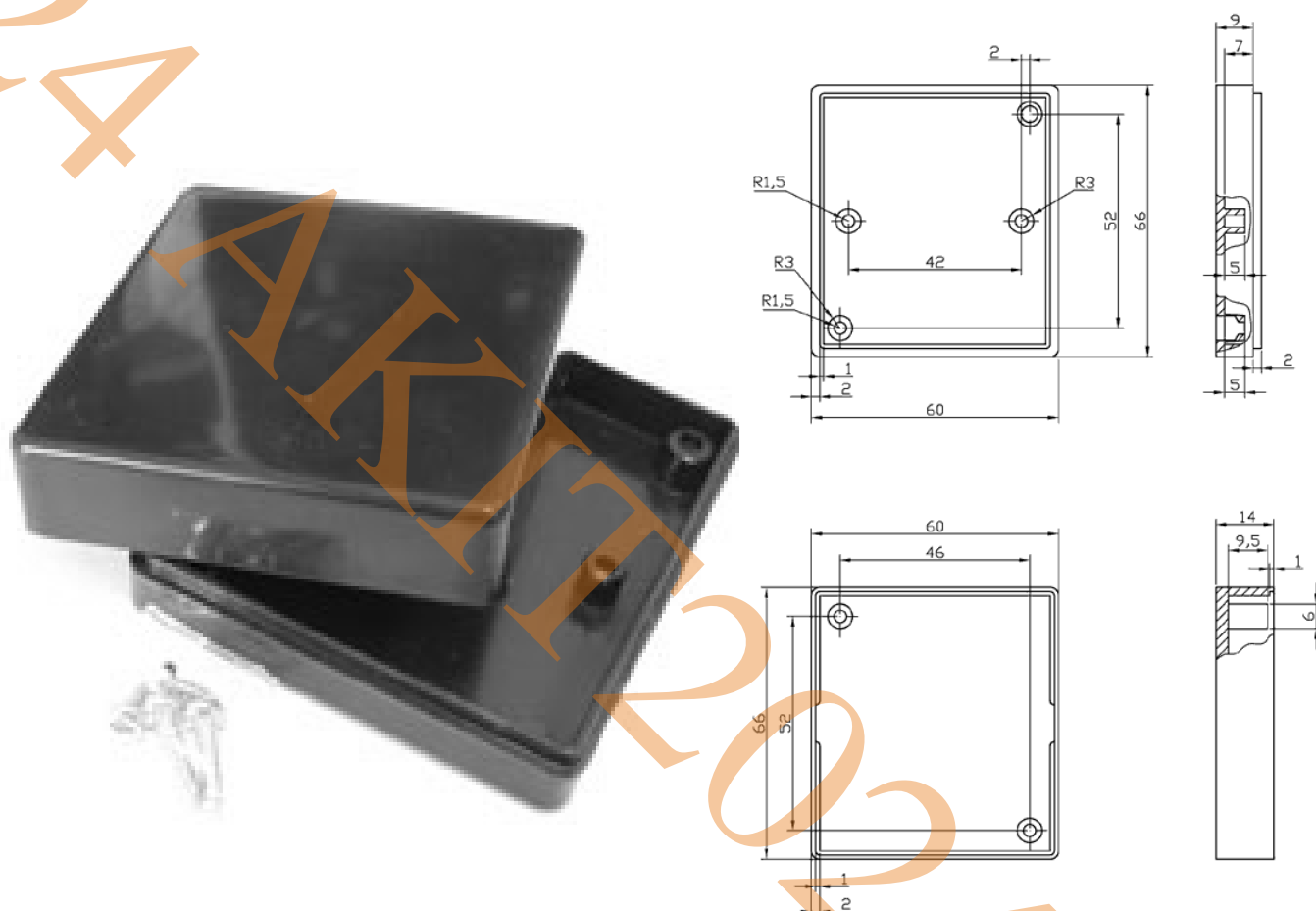


Рис.4.1 Корпус BOX-FB01

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм.

Розмір встановлюваної друкованої плати 45x53 мм. Максимальна висота плати 10 мм. Спосіб кріплення плати до корпусу: 2-ма саморізами 2,5x7 мм. Відстань між отворами 42 мм (Рис.2.20).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ

Арк.
65

BOX-FB02 Корпус пластмасовий 37x120x21 мм [1].

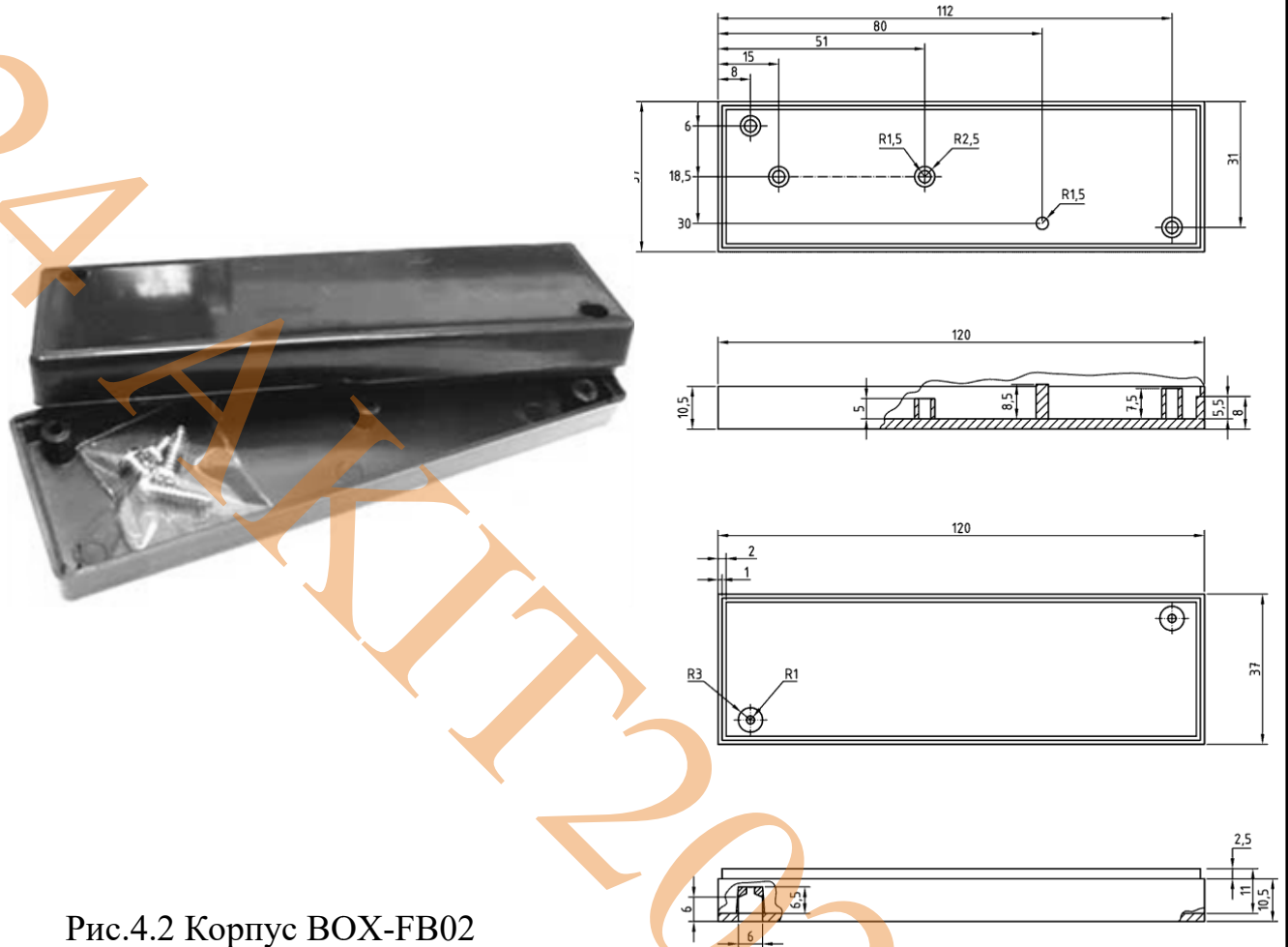


Рис.4.2 Корпус BOX-FB02

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм. Розмір встановлюваної друкованої плати 112x30 мм. Максимальна висота плати – 10 мм (Рис.2.2).

BOX-FB03 Корпус пластмасовий 90x134x45 мм [1].

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, товщина стінок 3,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 4-ма саморізами 2,5x13 мм.

Розмір встановлюваної друкованої плати 74x62 мм. Максимальна висота плати 25 мм.

Спосіб кріплення плати до корпусу: 4-ма саморізами 2,5x7 мм. Відстань між отворами 51x51 мм. (Рис.4.3).

2,5x7 мм. Відстань між отворами 51x51 мм. (Рис.4.3).

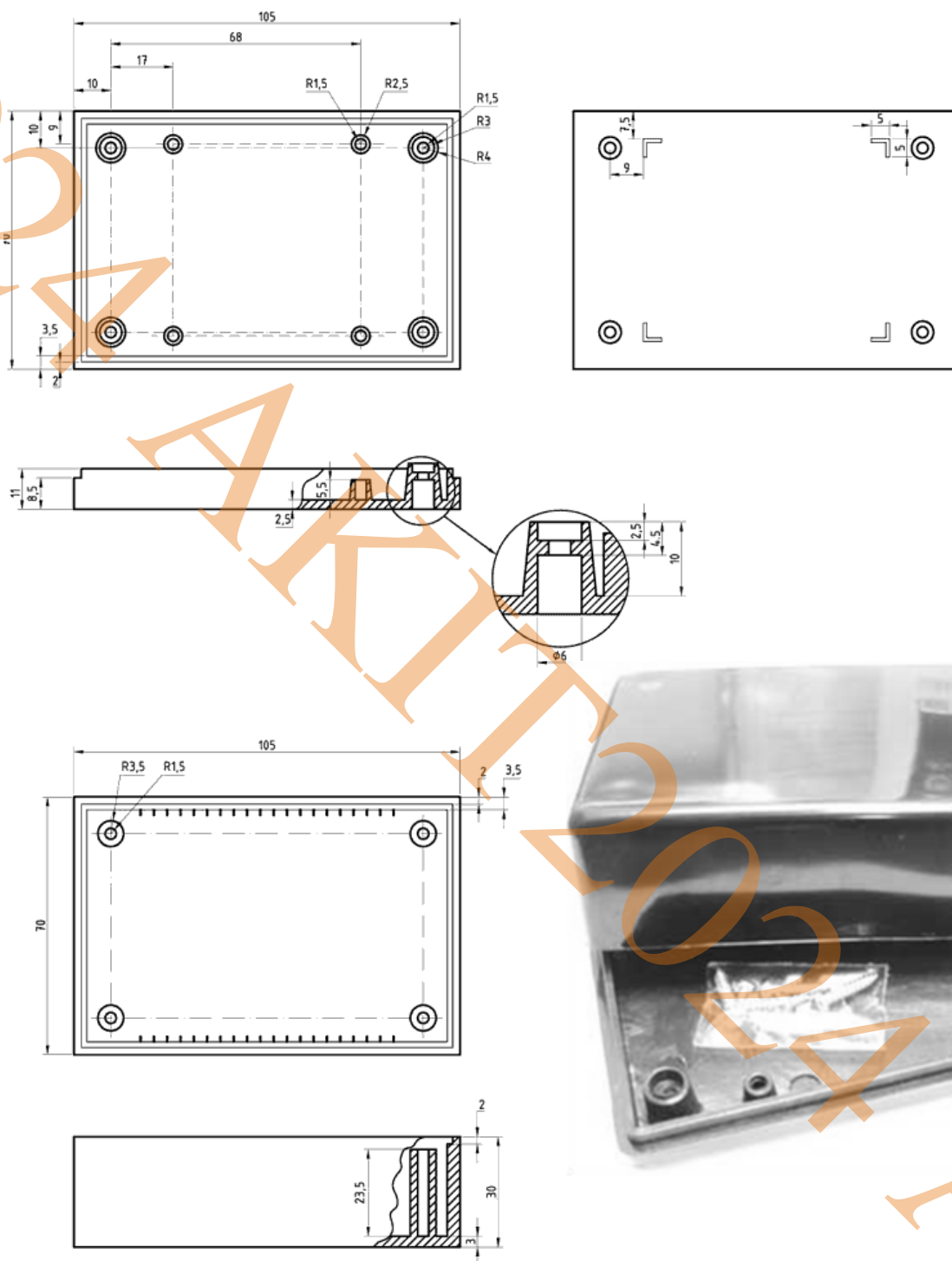


Рис.4.3 Корпус BOX-FB03

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

BOX-FB06 Корпус пластмасовий зі знімною передньою і задньою панелями 217x168x78 мм [1].

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, товщина стінок 4 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 4-ма саморізами 3,5x50 мм. Корпус має 4 гумових ніжки.

Розмір встановлюваної друкованої плати 175x150 мм, відстань між отворами 152x122мм. Максимальна висота плати 70 мм. У корпус можна встановити дві (чотири) однакові друковані плати 120x70 мм, відстань між отворами 90x45 мм (8 саморізів 2,5x6 мм). (Рис.4.3).

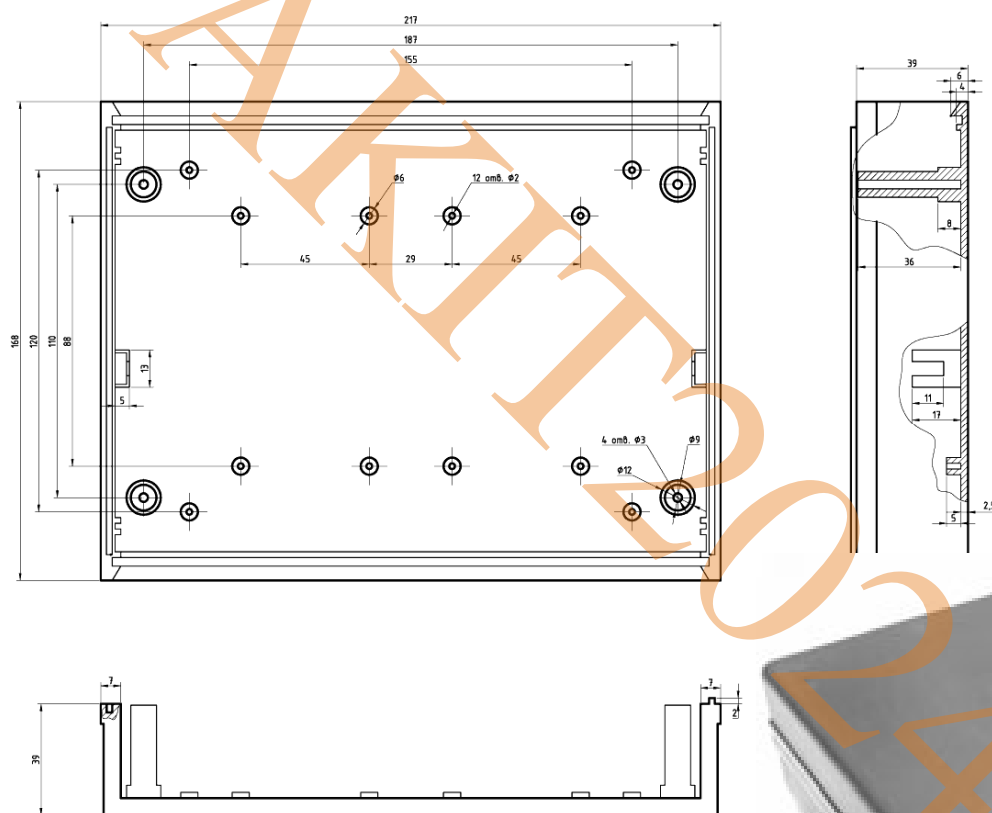


Рис.4.4 Корпус BOX-FB06

4.2 Загальні вимоги до конструкції корпусу

При розробці виробу необхідно паралельно проводити аналіз на технологічність конструкції. Під технологічністю конструкції [16,17] розуміють сукупність властивостей конструкції виробу, які проявляються у можливості оптимальних затрат праці, засобів, матеріалів та часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті у порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення, при забезпеченні встановлених показників якості і прийнятих умовах виготовлення, експлуатації та ремонту. Таким чином, конструкція технологічна, якщо при прийнятому типі та організації виробництва, заданій програмі, повторюваності випуску та використовуваних технологічних процесів вона буде мати найменшу трудомісткість, матеріаломісткість та собівартість в процесі виготовлення, зручна та надійна в експлуатації та простою у ремонті.

Необхідно враховувати, що не завжди вироби, які технологічні для крупносерійного та масового типу виробництва технологічні для одиничного та дрібносерійного. Так, деталі та заготовки, які виготовляються з пластмаси на пресах та ливникових машинах, будуть технологічні для велико серійного та масового типу виробництва в той час, як для одиничного та дрібносерійного - нетехнологічними. Це пов'язано з вартістю прес-форм та терміном її відшкодування.

Технологічність конструкції оцінюється кількісними характеристиками, так званими показниками технологічності. Розрахункові показники технологічності порівнюють з прийнятими за вихідні - базовими показниками технологічності, які задаються технічними вимогами на прилад, або прийняті для відповідної галузі виробництва. Конструкція вважається технологічною, якщо значення показників технологічності відповідають значенням базових показників.

Розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність конструкції. Виробнича технологічність визначається стосовно виготовлення виробу, а

експлуатаційна - стосовно виконання технічного обслуговування виробу та його ремонту. Технологічна конструкція сприяє одержанню високої якості виробу, підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат на підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію та ремонт. Технологічну конструкцію виробу збирають з технологічних складальних одиниць та деталей, тобто таких частин конструкції виробу, сукупність властивостей яких проявляються у можливості оптимальних витрат праці, засобів, матеріалів та часу при підготовці їх до виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу у цілому.

Технологічні конструкції виробів повинні володіти високими якісними та кількісними показниками. До якісних відносять : взаємозамінність - властивість конструкції складової частини виробу, яка забезпечує можливість її використання замість іншої без додаткової обробки із збереженням заданої якості виробу, у склад якої вона входить; урегульованість - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість та зручність її регулювання при складанні, технічному обслуговуванні та ремонті для досягнення або підтримки працездатності; контролепридатність - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість, зручність та надійність її контролю при виготовленні, випробуванні, технічному обслуговуванні та ремонті; інструментальну доступність - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість вільного доступу до поверхонь при виготовленні, випробуванні, технічному обслуговуванні та ремонті.

Велике значення мають технічні показники технологічності конструкції, які необхідно визначити в процесі аналізу технологічності та спів ставити з нормативами, розробленими у „ Єдиній системі технологічної підготовки виробництва ЄСТПВ [17].

Проведемо розрахунок деяких з них:

1) коефіцієнт складальності

$$КСК = E / (E + O), \quad (4.1)$$

де E - кількість специфікованих складальних одиниць; E+O - загальна кількість частин виробу

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Чим більший коефіцієнт $K_{ск}$, тим більш технологічна конструкція. Термометр оптоволоконний містить пристрій реєстрування, тому $E=1$; $E+0=3$
 $K_{ск}=1/3=0,33$

2) коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{вм}=M_{ім}/M \quad (4.2)$$

де $M_{ім}$ - сумарна маса даного матеріалу, кг; M - маса конструкції виробу, кг.

Чим більший коефіцієнт $K_{вм}$, тим більш технологічна конструкція. Оскільки корпус приладу виготовляється методом "виливка під тиском" $K_{вм} \approx 1$.

Аналіз на технологічність конструкції проводять для визначення можливості одержання заготовок прогресивними методами та застосувати ці методи для обробки і складання, контролю та випробування, використанню типових технологічних процесів та їх механізацію і автоматизацію, виявити зручність (пристосованість) виробу в експлуатації та обслуговуванні, підвищити довговічність та забезпечити надійність у роботі, скоротити трудомісткість ремонтів, забезпечити транспортабельність та вимоги техніки безпеки.

Крім цього, при аналізі однієї деталі, необхідно визначити:

- чи можуть бути використані конструкторські бази як вимірювальні так і технологічні для підвищення точності виготовлення за рахунок зменшення похибок базування;
- чи є поверхні деталі однотипними, що дозволяє зменшити кількість операцій, переходів, оснастки та обладнання для їх виготовлення;
- чи дозволяє метод проставлення розмірів забезпечити точність функціональних параметрів і методів їх досягнення;
- чи дозволяє метод одержання заготовки забезпечити точність та шорсткість ряду поверхонь без додаткової обробки, або ряду поверхонь, які вимагають для обробки малі припуски, що дозволяє скоротити обсяг та трудомісткість механічної обробки;
- чи можливо використання високопродуктивних процесів, які дозволяють понизити трудомісткість і вартість обробки;

• чи можливо використання типових технологічних процесів або групової обробки деталей.

Оскільки корпус виготовляється із ударостійкого полістиролу, нас більше цікавлять вимоги до конструкції пластмасових виробів.

При конструюванні пластмасових деталей необхідно прагнути до забезпечення раціональних умов текучості матеріалу у формі, зменшенню внутрішніх напружень і ступені короблення, підвищенню точності виготовлення, полегшенню виймання деталі з форми. Це можна досягти при виконанні наступних вимог, які висуваються до конструкції [15,16]:

- деталь повинна мати технологічні уклони;
- припуски на обробку деталі повинні бути технічно обумовленими, вибраними з урахуванням умов експлуатації деталі, усадки матеріалів і висоти деталі, які впливають на величину уклонів;
- в деталях не повинно бути внутрішніх виступів, що заважають вийманню з форми;
- конфігурація деталей повинна бути по можливості найбільш простою, щоб не виникала необхідність у використанні роз'ємних матриць і пуансонів;
- деталі повинні мати закруглення, при наявності яких підвищується міцність, полегшується формування деталі і покращується її зовнішній вигляд;
- товщини стінок деталі повинні бути однаковими або близьким по значенню;
- деталі, особливо пресовані, повинні бути по можливості компактними, без консольних виступів значної довжини;
- при виборі матеріалу повинен бути врахований вплив середовища, в якому буде знаходитись деталь при експлуатації.

При конструюванні необхідно враховувати, що найбільший ступінь короблення спостерігається у великих плоских деталей, які не мають ребер жорсткості, у деталей різної товщини або деталей з односторонньою арматурою при необхідності вибраної пластмаси умовам експлуатації. Тріщини виникають внаслідок надмірних внутрішніх напружень у деталях зі значною різницею по

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщині, при відсутності достатніх радіусів закруглення і неправильному встановленні металічної арматури. Тріщини і короблення можуть з'являтися не відразу після виготовлення деталі, а при її експлуатації.

4.2.1 Визначення товщини стінок корпусу

В нашому випадку корпус виготовляється із ударостійкого полістиролу УПМ-0612Л, тому для визначення найменшої допустимої товщини стінок деталей 8, необхідно користуватися наступною емпіричною формулою:

$$S = 0.8 \sqrt[3]{h} - 2.1 \quad (4.3)$$

де h - висота стінки,

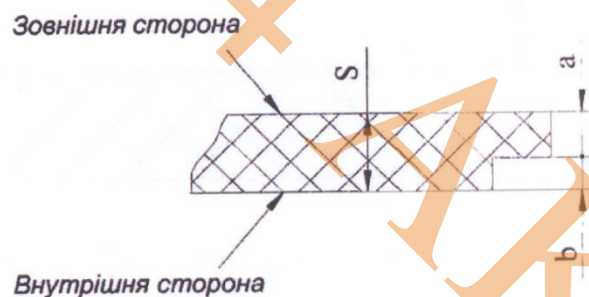
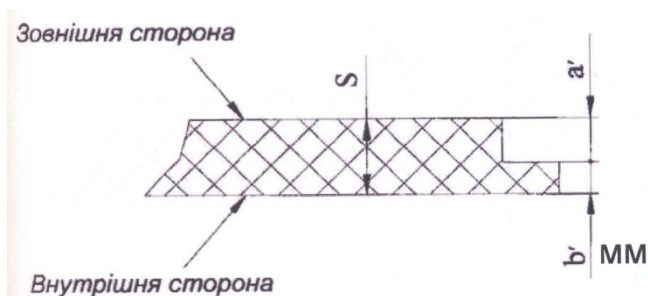
$$h_{\text{тах}} = 170 \text{ мм.}$$

Тоді:

$$S = 2,33 \text{ мм.}$$

Призначаємо товщину стінки $S = 2,5 \text{ мм.}$

Для правильного спряження кришки корпусу з його основою, конструкція стінок повинна мати наступну форму:



Призначаємо для спряжених поверхонь кришки та основи розміри:

1. кришка:

довжина $170^{+0.2}_{-0.1}$ мм, ширина $97^{+0.2}_{-0.1}$ мм.

2. основа:

довжина $170^{+0.1}_{-0.1}$ мм, ширина $97^{+0.1}_{-0.1}$ мм.

4.2.2 Призначення технологічних уклонів та ребер жорсткості

При проектуванні корпусу із полістиролу були призначені наступні технологічні уклони:

Для зовнішньої поверхні - 1:100
для внутрішньої поверхні - 1:300 для
отвору - 1:50.

У пластмасових деталях часто застосовують ребра жорсткості, фланці, буртики, які значно підвищують жорсткість і зменшують короблення конструкції. Товщина ребер жорсткості звичайно не перевищує 0.6/1.0 товщини стінок виробу.

Оскільки корпусні деталі мають достатньо великі розміри, то основа та кришка мають бути забезпечені ребрами жорсткості наступної форми:

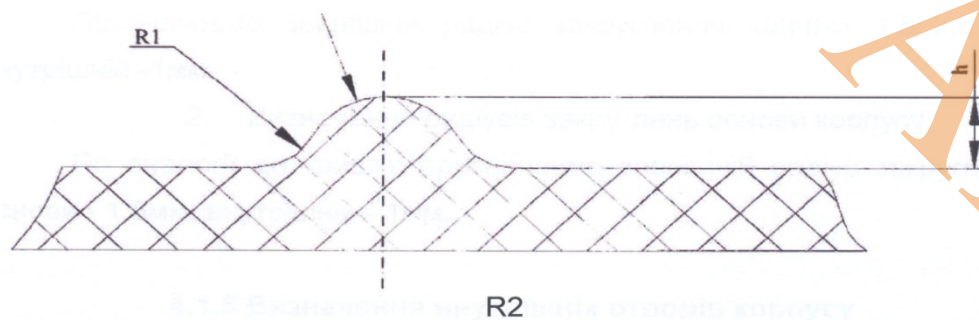


Рис 4.5 Форма ребер жорсткості

де $R_1=1\text{мм}$, $h=(0.6-0.8)$, $S=1.4-2\text{мм}$

Призначаємо $h=1,4\text{мм}$

4.2.3 Визначення радіусів закруглень корпусу

При наявності радіусів закруглень полегшується течія маси в формі (особливо у термопластів), зменшується зношування прес-форми, полегшується виймання деталей із форми, покращується їх зовнішній вигляд.

Радіуси закруглень не передбачаються, в основному, лише на елементах, які знаходяться в площині розніму форм.

Найменший допустимий радіус зовнішнього закруглення для деталей з термопластів - 5мм; внутрішнього закруглення для деталей із полістиролу і поліметилметакрилату - 1,0-5-1,6мм.

Рекомендовані значення радіусів закруглень R в залежності від висоти стінки деталей H визначається приблизно наступною формулою:

$$R=0.05h \quad (4.4)$$

1. Визначення радіусів заокруглення кришки корпусу.

Висота стінки складає $<27\text{мм}$.

Тоді $R=0,05 \cdot 27 = 1,35\text{мм}$.

Призначаємо зовнішній радіус закруглення кришки $1,5+2,0\text{ мм}$, внутрішній - 1мм .

2. Визначення радіусів закруглень основи корпусу.

По аналогії до кришки призначаємо зовнішній радіус закруглення основи - $1,5\text{мм}$, внутрішній - 1мм .

4.2.4 Визначення внутрішніх отворів корпусу

Раціональне конструктивне оформлення отворів досить важливе для забезпечення нормальної роботи прес-форм і одержання виробів високої якості.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При неправильно вибраному відношенні глибини отворів до діаметру і недостатній відстані від краю отвору до краю виробу може руйнуватись при пресуванні знак, який формує отвір, або відбудеться розтріскування деталей. Допустима глибина отвору, при заданому діаметрі, залежить від розміщення отворів у виробі, способу кріплення знака, напрямлення осі отвору, технології виготовлення. Для збільшення довжини отворів рекомендується передбачити у деталі додаткові технологічні отвори під спеціальні знаки - опори, які підтримують основний формуючий знак при пресуванні або виливі.

1. Розрахунок та призначення параметрів отворів кришки корпусу.

Для забезпечення нормального з'єднання основи корпусу з кришкою, в останній передбачається утворення спеціальних бобишек, всередині яких знаходяться отвори для кріплення.

Відношення глибини отвору до його діаметру при двохсторонньому кріпленні знаків повинно складати ≈ 4 .

Отже, $K=h/d=4$ (4.5)

Тоді: $h=K*d=4*2.5-10\text{мм}$.



Рис. 4.6 Бобишка

Призначаємо глибину отвору $h=8\text{мм}$; допуск $\delta=+1\text{мм}$.

Для забезпечення жорсткості, мінімальний діаметр бобишки повинен складати значення не менше $3d$.

$D=3d=3*2,5=7,5\text{мм}$.

Призначаємо $D=9\text{мм}$.

4.2.5 Розрахунок та призначення параметрів отворів основи корпусу

В основі корпусу по його периметру розташовані 4-ри бобишки, які призначені для встановлення друкованої плати та з'єднання основи з кришкою за допомогою шурупів.

Дві з цих бобишек по діагоналі містять наскрізні отвори, інші - глухі.

Наскрізні отвори призначені для з'єднання основи з кришкою за допомогою гвинтів М2.5-14

Призначаємо діаметрів отворів у цих бобишек -2,0мм. Зовнішній діаметр бобишек - 9мм.

Дві інші бобишки містять в собі глухі отвори для кріплення до основи корпусу друкованої плати за допомогою шурупів 1-3х8.016 ГОСТ 1144-80. Діаметр глухого отвору складає 2,5мм, а його глибина - 8мм. Зовнішній діаметр бобишки - 9мм

4.3 Опис конструкції приладу та його складових частин

Проектований волоконно-оптичний термометр рис.4.7 складається з: 1) блоку вимірювального; 2) блоку живлення; 3) волоконно-оптичного термочутливого елемента.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

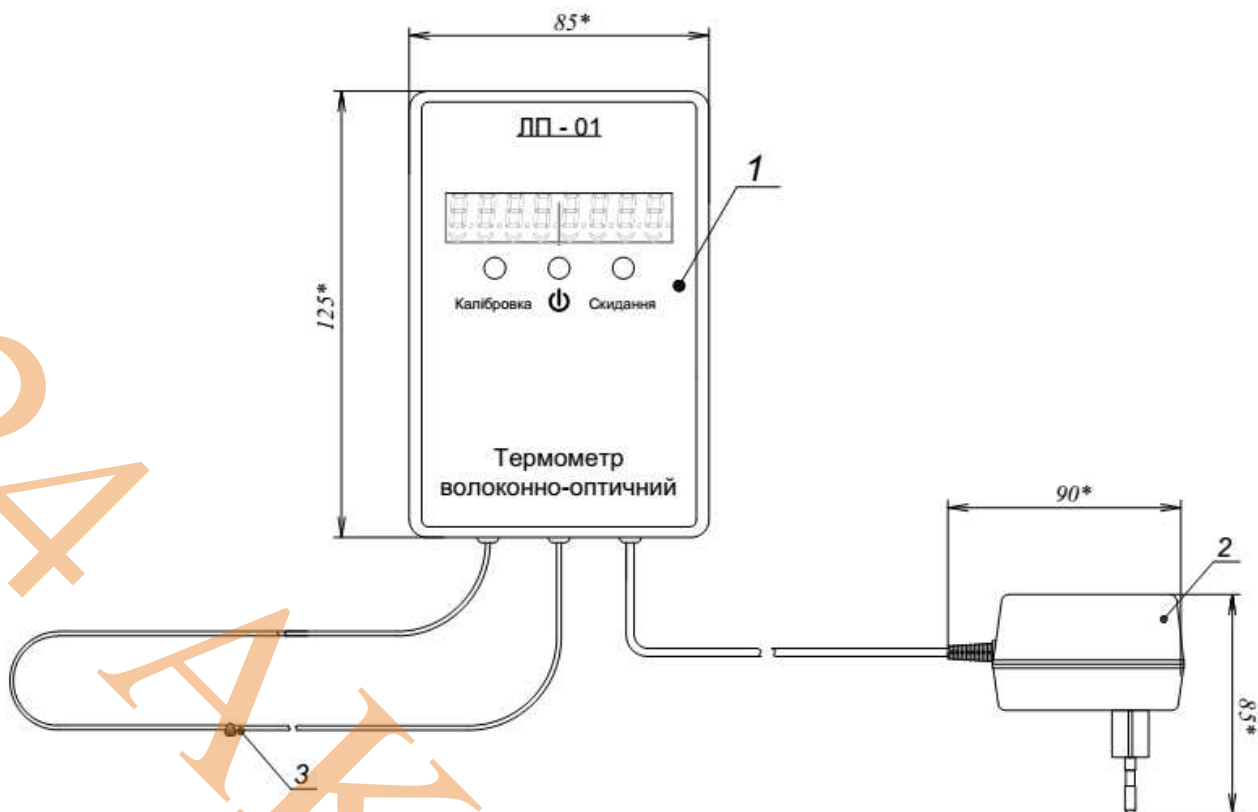


рис. 4.7 Загальний вигляд волоконно-оптичного термометра

4.3.1 Опис блоку вимірювального

Корпус вимірювального блоку волоконно-оптичного термометра рис. 4.8 складається з 1) основи та 2) кришки виготовлених із пластику методом гарячого відливу. Габаритні розміри корпусу 125*85*26 мм.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

рис. 4.9 Спосіб розміщення друкованих плат в середині корпусу.

4.3.2 Характеристики блока живлення

Економічно доцільним було вибрати блок живлення до даного приладу як готовий покупний виріб з відповідними параметрами. Так як ціна покупного блоку живлення значно нижча, ніж затрати на виготовлення індивідуального виробу. Тому було вибрано блок живлення TATAREK T27XX виробника ВКФ «ОРВИН». Зовнішній вигляд блоку живлення наведено на рис. 4.10.



Рис.4.10 Блок живлення термометра [10]

Технічні характеристики блоку живлення термометра наведено у додатках.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Опис схеми складання

Складання вимірювального блоку проектного пристрою описана в таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 Схема складання вимірювального блоку проектного пристрою

Номер	Найменування операції	Склад операції
1	Припаювання провідників (поз. 17) до складальної одиниці (поз. 1)	1. Підготувати провідники відповідної довжини та зачистити, припаяти їх відповідно з табл. з'єднань.
2	Припаювання провідників до роз'єму USB (поз. 16)	1. Розпаяти згідно таблиці з'єднань контакти до роз'єму.
3	Припаювання провідників до вимикача (поз. 13)	1. Розпаяти згідно таблиці з'єднань контакти до роз'єму.
4	Припаювання провідників до роз'єму для батареї (поз. 16)	1. Розпаяти згідно таблиці з'єднань контакти до роз'єму.
5	Встановлення складальної одиниці (поз. 1) до основи (поз.3)	1. Встановити та прикріпити складальну одиницю (поз. 1) до основи (поз.3) чотирма гвинтами та
6	Встановлення вимикача (поз. 13) до кришки (поз.2)	1. Встановити та прикріпити вимикач (поз. 13) до кришки (поз. 2) двома гвинтами і гайками (поз. 8, 6)
7	Встановлення роз'єму иВВ (поз. 16) до кришки (поз.2)	1. Встановити та прикріпити роз'єм иВВ (поз. 16) до кришки (поз. 2) двома гвинтами з шайбами (поз. 9, 11)
8	Закрити основу кришкою	1.Встановити дві кнопки (поз. 4) у кришку і зібрати їх до основи.

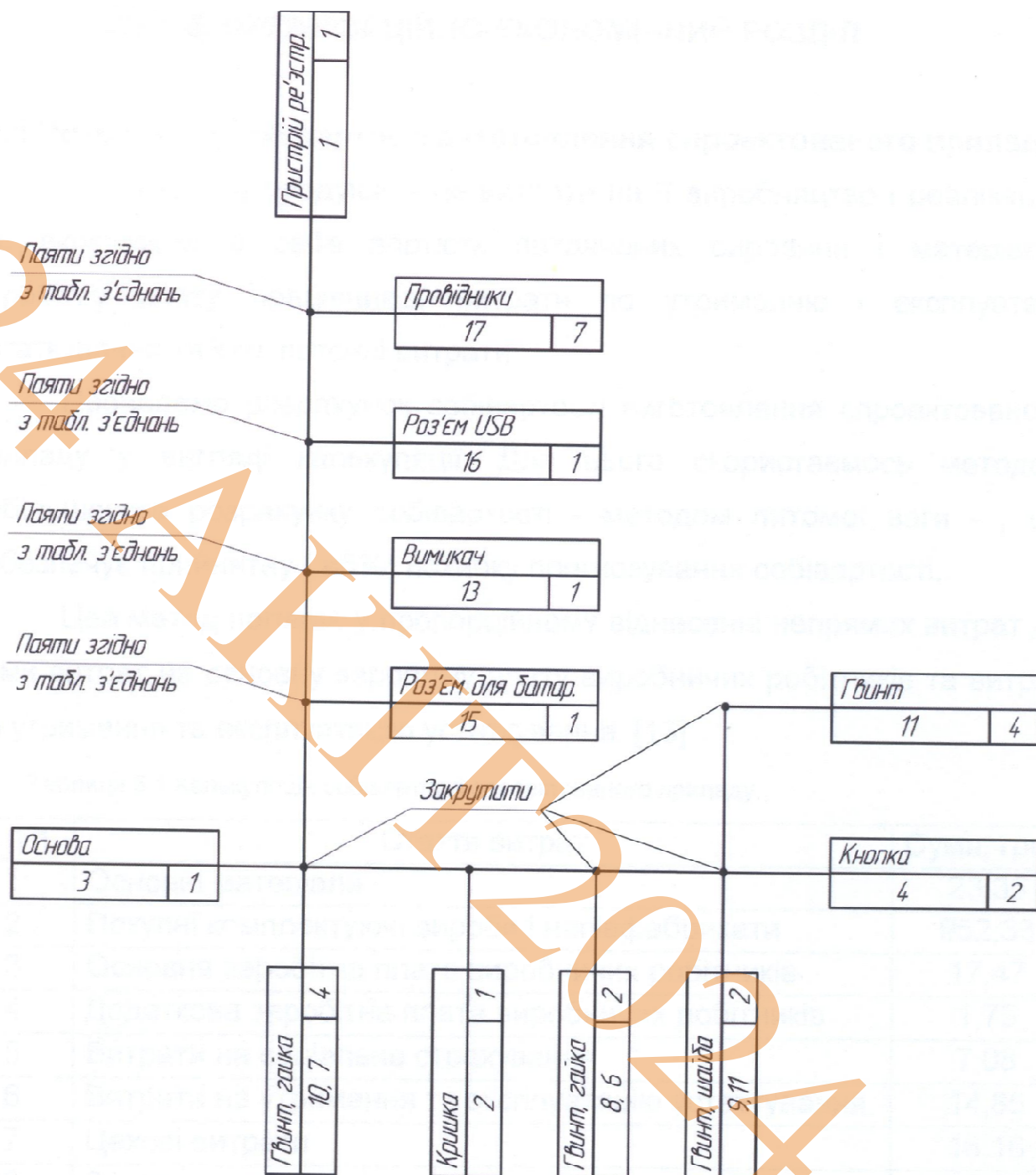


Рис. 4.11 Технологічна схема складання волоконно-оптичного вимірювача температури.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проекту згідно з Т.З було розроблено волоконно-оптичний термометр, який складається з трьох частин: датчика термометра, блоку вимірювального, блоку живлення.

В ході виконання дипломного проекту було: проведено аналіз оптичних властивостей різних матеріалів ХСН, обрано відповідний датчик термометра, розроблено оптичну схему датчика та вибрано відповідні світло- фотодіоди, розроблена відповідна принципова схема приладу та обґрунтовано принцип її роботи, обрано відповідні матеріали для виготовлення основних вузлів та складових частин приладу, розроблено алгоритм роботи приладу, , сформульовані відповідні рекомендації до порядку роботи з приладом, виконані розрахунки по технологічності конструкції приладу

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Оптические свойства полупроводников/ В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк и др./ под. ред. М.П. Лисиццы.-К.:Наукова думка, 1987.- 607 с.
2. <http://www.hp.com/go/fiber/>
3. Kigbright/Optoelectronic Components-Catalog 2001-2002, page 135.
4. Збірник наукових праць 4-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми технічного регулювання та якості», Одеса. – 2014. С. 85 – 87.
5. <http://www.elfa.se>
6. Дяконов В.П., Максимчук А.А., Ремнев А.М. и др. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах / Под ред. Дяконова В.П. – м.: СОЛОН-Р. – 2002, с.283-290.
7. Дяконов В.П., Калинин А.Г., Ватутын В.М., и др. Модуляторы полупроводниковых излучающих диодов с запуском от логических микросхем / ПТЭ, 1983, №6, с.113-115.
8. Вареник А.П., Журин А.А. Стабильный экономичный модулятор тока светодиодов / ПТЭ, 1988, №3, с. 153-154.
9. Каталог по использованию полевых транзисторов / Под. ред. Н.М. Тугова, С.Д. Федорова – Донецк, Синапс, 1992. – 150с.
10. Козусенок О.В., Туряница І.І., Кутчак С.В., Пшенична О.О. Розрахунок передавальної характеристики та мінімальної граничної температури термосенсора на основі стеклових системи As-Se/IY. Міжн. Конф. «научно пространство на Європа».- Софія 15 – 30 апрель, 2008. – Т.28. Физика. Математика. – с. 24-27.
11. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк. 84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КМР.АКІТ.10599871.01.000 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		