

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Роботизовані та автоматизовані  
системи неруйнівного контролю та діагностики»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: « Прилад для автоматизованого вимірювання вологості  
тканин»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК – 91

Панаско Денис Віталійович

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент, к.т.н., доцент

Петрик Валентин Федорович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент

Добролюбова Марина Валеріївна

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що в цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ	Пояснювальна записка	65	
3	A1	ДР ПК-91.14.1760.000 Е1	Схема структурна	1	
4	A3	ДР ПК-91.14.1760.000 СК	Датчик випромінювання та приймання	1	
5	A3	ДР ПК-91.14.1760.000 КЗ	Схема кінематична принципова	1	

				<b>ДР ПК-91.14.1760.000</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Панаско Д.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	
Керівник	Петрик В.Ф.				1	
Консульт.					1	
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-91	
Н/контр.						
Зав. каф.						

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Прилад для автоматизованого вимірювання**  
**вологості тканин»**

**Київ – 2023 року**

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Роботизовані та автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРЖДУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КРИЧУК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту Панаско Денису Віталійовичу**

1. Тема проєкту «Прилад для автоматизованого вимірювання вологості тканин», керівник проєкту Валентин Федорович Петрик, доц., затверджені наказом по університету від « 30 » травня 2023 року № 2057-с .
2. Строк подання студентом проєкту: « 9 » червня \_\_\_\_\_ 2023 року.
3. Вихідні дані до проєкту: розробити оптичний прилад для контролю вологості тканин в текстильній промисловості. У даному випадку використовується параметричний тип перетворювача.
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Огляд літератури за темою роботи; Розділ 2. Проектування електронно-оптичного дефектоскопа; Розділ 3. Підбіркокомплектуючих для електронно-оптичного дефектоскопа.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема оптична, функціональна схема, принципова електрична схема, складальний кресленик, презентація доповіді.

#### 6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Ім'я, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Принципова електрична схема	Баженов В.Г., доц., к.т.н.		
Графічна частина	Богдан Г.А., ст. викладач, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Огляд літератури за темою роботи	28.04.2023	
2.	Систематизація теоретичного матеріалу	08.05.2023	
3.	Розробка функціональної схеми приладу	09.05.2023	
4.	Моделювання оптичної системи та її оптимізація	22.05.2023	
5.	Моделювання фокусуєчої системи	28.05.2023	
6.	Підбір компонентів для конструкції приладу	30.05.2023	
7.	Розробка складального креслення	02.06.2023	
8.	Формування загальних висновків	03.06.2023	
9.	Остаточне оформлення дипломного проєкту	05.06.2023	

Студент

Денис ПАНАСКО

Керівник

Валентин ПЕТРИК

## **АНОТАЦІЯ**

для дипломної роботи студента

Панаско Дениса Віталійовича

Робота присвячена розробці оптичного приладу для контролю вологості тканин в текстильній промисловості. На сучасному етапі технічного розвитку велике значення набуває автоматизація управління технологічними процесами і контроль якості, зокрема в текстильній галузі, де це має суттєвий економічний ефект. Оптичний прилад контролю вологості тканин є необхідним у текстильній промисловості.

В процесі дослідження були вивчені спектральні характеристики вологих матеріалів. Ми змогли побачити принцип роботи оптоелектронних вологомірів. Також, були висвітлені принципи побудови відомих ІЧ-вологомірів. Були розроблені структурна, оптична, функціональна та електрична принципова схеми приладу. Також були проведені розрахунки показників надійності приладу і здійснений аналіз похибок.

Результатом дипломної роботи є розроблений оптичний прилад контролю вологості тканин, який може знайти широке застосування в текстильній промисловості. Робота відповідає сучасним вимогам технічного розвитку та вимогам вимірювальних систем.

## **ABSTRACT**

for the diploma work by the student

Panasko Denis Vitalyovich

The work is devoted to the development of an optical device for controlling the humidity of fabrics in the textile industry. At the current stage of technical development, the automation of technological process management and quality control is of great importance, particularly in the textile industry, where it has a significant economic effect. An optical device for monitoring the humidity of fabrics is necessary in the textile industry.

In the course of the research, the spectral characteristics of wet materials were studied. We were able to see the principle of operation of optoelectronic moisture meters. Also, the principles of construction of well-known IR hygrometers were highlighted. Structural, optical, functional and electrical schematics of the device were developed. The reliability indicators of the device were also calculated and an error analysis was carried out.

The result of the thesis is a developed optical device for monitoring the moisture content of fabrics, which could be widely used in the textile industry. The work meets the modern requirements of technical development and requirements of measuring systems.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ФР-фоторезистор

ВУ-вологоутримання

КВТ-контроль вологості тканин

СП-світловий потік

ІЧВ- інфрачервоний вологомір

ВОС-внутрішньооб'ємного середовища

ФП-фотоприймач

ОВ-оптоелектронні вологоміри

ВП-вимірювальний перетворювач

ПКВ-прилад контролю вологості

ПС-постійним струмом

ТВ-ткацького верстату

ДВ-датчик випромінювання



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	13
1.1. Постановка завдання.....	13
1.2. Огляд існуючих методів.....	14
1.2.1. Класифікація методів виміру вологості.....	14
1.2.2. Спектральні характеристики вологих матеріалів.....	20
1.2.3. ІЧ-вологоміри, засновані на прийомі відбитого випромінювання.....	23
1.2.4. ІЧ-вологоміри, на основі приймання випромінювання, яке проходить крізь об'єкт контролю.....	25
1.2.5. Оптиелектронні вологоміри.....	29
1.3. Аналіз об'єкта контролю.....	34
1.4. Вибір та обґрунтування контрольованого методу.....	36
1.5. Вибір структурної схеми, та її обґрунтування.....	37
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	41
2.1. Розрахунок та розробка кінематичної схеми.....	41
2.2. Розрахунок та розробка оптичної схеми.....	47
2.2.1. Розробка оптичної схеми.....	47
2.2.2. Розрахунок оптичної схеми.....	48
2.2.3. Світлотехнічний розрахунок оптичної схеми.....	51
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ.....	53
3.1. Розробка та опис структурної схеми.....	53
3.2. Розробка та опис функціональної схеми.....	54

					<i><b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b></i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розроб.		Панаско Д.В.					
Перевір.		Петрик В.Ф.					
Реценз.							
Н.контроль							
Затверд.		Петрик В.Ф.					
<b>ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРУ ВОЛОГОСТІ ТКАНИН</b>					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<b>ПБФ</b>		

РОЗДІЛ 4.КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	57
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ.....	60
РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ ПОХИБОК.....	62
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк</b>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

## ВСТУП

Однією з актуальних проблем в сучасній техніці є необхідність контролювати вологість твердих матеріалів. Сьогодні майже всі об'єкти контролю або виробничі процеси прагнуть підвищити якість промислової і сільськогосподарської продукції шляхом виконання всіх вимог державних стандартів, зокрема щодо допустимих меж вологості матеріалів.

Для визначення кількісного вмісту вологості, передбаченого стандартами, застосовуються різноманітні методи, які залежать від властивостей контрольованих матеріалів. Багато з цих методів є обов'язковими в стандартах для приймання і контролю якості продукції, а інші успішно використовуються для створення експресних лабораторних і автоматичних промислових пристроїв, таких як вологоміри.[1]

Багато неметалевих промислових виробів і сільськогосподарських продуктів містять певну кількість вологи, яка має велике значення для їх технологічних і споживчих властивостей. Відсутність або надлишок вологості негативно впливають на фізико-хімічні і фізико-механічні характеристики багатьох матеріалів. Водночас, оптимальний рівень вологості гарантує високу якість продукції. Тому вимірювання вологості матеріалів є одним з найважливіших показників контролю якості, який жорстко регламентується національними стандартами.

Окрім маси, вологість матеріалів також впливає на їхні властивості, саме через це у деяких ремеслах народного господарства, за винятком стандартних вимог, використовуються технічні норми і умови, які забезпечують належну вологість сировини і продуктів під час виробництва.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У стандартах також визначаються різні методи вимірювання вологості матеріалів за їхніми фізичними, а також фізико-хімічними та фізико-механічними властивостями. Ці методи часто є точними лабораторними процедурами, які забезпечують точне вимірювання вмісту вологи.

У процесі оцінки та визначенні вологості матеріалів враховуються різні форми зв'язків. А саме, вологи з матеріалом, також досліджується його здатність поглинати або виділяти вологу. Існує класифікація форм зв'язку вологи з матеріалами, розроблена П. А. Ребіндером, яка базується на енергії, необхідній для руйнування зв'язку і видалення вологи з матеріалу. Ця класифікація включає хімічний зв'язок (іонний, молекулярний), фізико-хімічний зв'язок (адсорбційний, осмотичний) та фізико-механічні зв'язки.

Хімічний зв'язок є найміцнішою формою зв'язку, де молекули води хімічно пов'язані з молекулами матеріалу. Цю форму вологи не можна видалити простим висушуванням або стискуванням. Її видалення вимагає руйнування молекул матеріалу, що призводить до зміни властивостей матеріалу. Цю форму вологи називають зв'язаною і кількісно не визначають, оскільки вона становить частину самої речовини.[7]

Фізико-хімічний зв'язок включає адсорбцію та осмос. Адсорбція полягає в поглинанні речовини на поверхні твердого адсорбенту, такого як пори і капіляри матеріалу. Волога адсорбується на цих поверхнях і може бути видалена випаровуванням.

Отже, стандарти встановлюють не тільки допустиму вологість матеріалів, але й методи визначення вологості, що дозволяють отримати точні дані про вміст вологи у матеріалах.

					<i><b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b></i>	<b>Арк.</b>
						12
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Фізико-механічний зв'язок вологи з матеріалом є найслабкішим типом зв'язку. Він виникає, коли вода безпосередньо контактує з матеріалом або коли матеріал поглинає вологу і затримує її у порах і капілярах. Ця вільна волога може міняти своє місце знаходження у матеріалі в стані рідини або пари і легко видаляється шляхом висушування та стискання вологи.[3] Процес виготовлення тканин – це робочий процес, який люди вивчали ще на початковій стадії розвитку. На протязі великого проміжку часу люди поступово перейшли від ручного плетіння тканин до більш сучасних виробництв різних структур тканин з різних видів сировини на потужних фабриках, що обладнані автоматичними верстатами.

На сьогоднішній день станки виготовлені на ОАО "Текстильмаш" (рис.1) дозволяють виробляти тканини майже з будь-якого виду пряжі. Вони здатні працювати з бавовняною, шерстяною, шовковою, синтетичною та змішаною пряжею, а також з жорстких волокон, таких як льон. Ці станки також можуть виробляти тканини з поліпропіленових і поліетиленових монониток, а також з комплексних ниток.

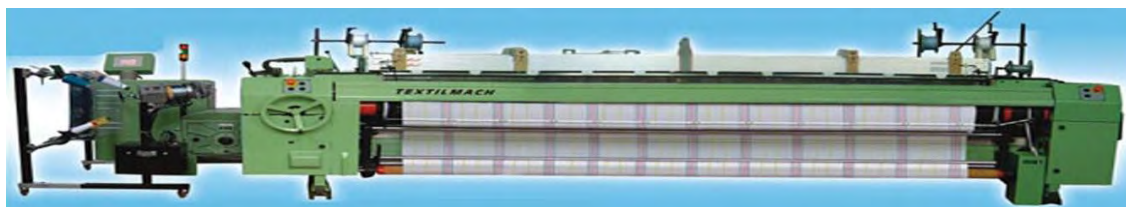


Рис. 1. Універсальний базовий верстат з мікропрокладальниками

Асортимент тканин є різноманітним і охоплює широкий спектр продукції. Він включає прості побутові тканини, а також детально розроблені кареточні і жаккардові тканини. Вони можуть бути одноколірними або багатоколірними, одношаровими або багатшаровими. Верстати з мікропрокладальниками на даний момент беруться за універсальну основу для виготовлення широкої різноманітності тканин.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						13
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Виконати розробку приладу для автоматизованого контролю вологості тканин. Для цього потрібно розробити, оптичну, структурну, функціональну і принципові схеми системи і також оптичний перетворювач.

### 1.2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ

#### 1.2.1. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРУ ВОЛОГОСТІ

Термін вологість є важливим параметром, за яким виконується оцінка якості виробленої продукції. Для вимірювання вологості використовуються такі величини:

- вологість – це фізична величина, яка відноситься до кількості водяної пари або вологи, присутньої в повітрі або в матеріалах.

- вологоутримання – це процес збереження або контролю рівня вологості в матеріалах, просторах або середовищах.;

Вимірювання вологості можна розділити на непрямі та прямі методи. Прямі виконуються розмежування матеріалу на вологу та суху речовину. Непрямі методи вимірюють величину, що пов'язана з вмістом вологості матеріалу. Для непрямих методів необхідне завчасне калібрування для встановлення зв'язку між вмістом вологості матеріалу та величиною яка вимірюється.

У (табл.1.1) наведені методи вимірів вологості.

#### Прямі методи

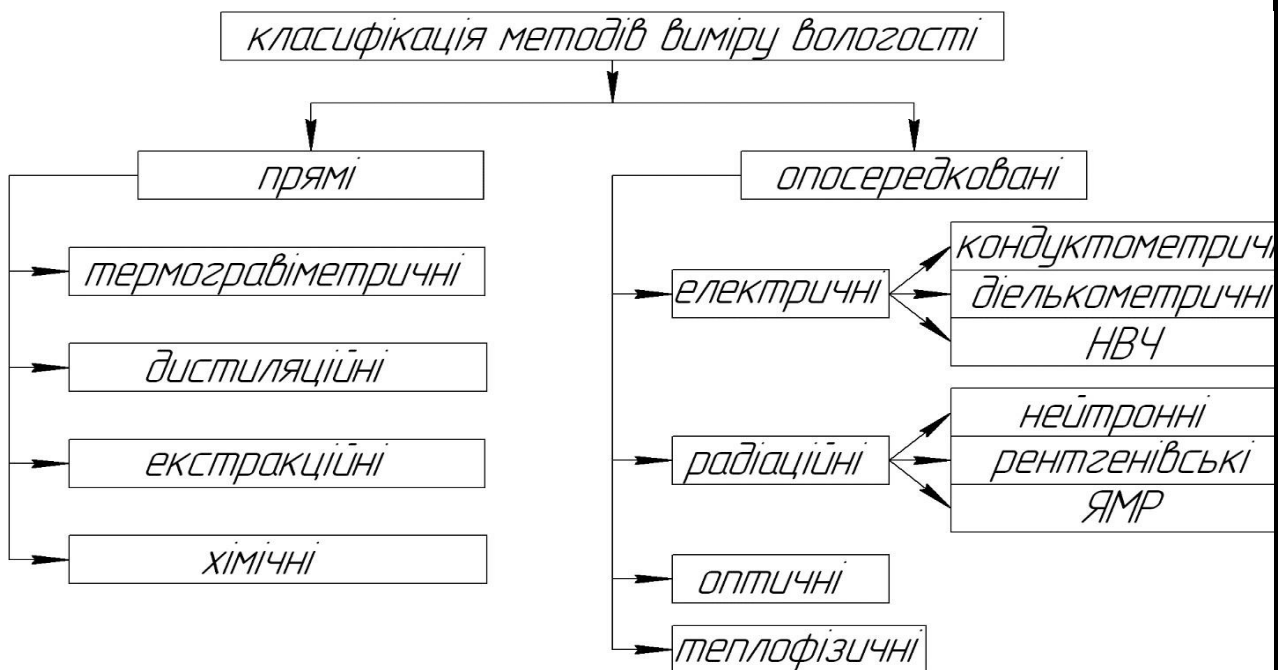
- 1) Термогравіметричний метод є найбільш поширеним методом визначення вологості різних матеріалів.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод вимірювання вологості за термогравіметричним принципом полягає у відборі невеликого зразка матеріалу та його зважуванні для визначення початкової маси. Потім зразок піддається процесу повітряного або теплового сушіння, в результаті чого волога випаровується. Після сушіння зразок знову зважується, і різниця маси між вологим і сухим зразком використовується для виміру вологості матеріалу.

Перевагою цього методу є його висока точність, що робить його використовуваним для метрологічного забезпечення нових типів вологомірів. Однак, недоліком цього методу є тривалість вимірювання, оскільки процес сушіння займає певний час.

Таблиця 1.1 - Методи виміру вологості та їх класифікація



2) Метод вимірювання вологості дистиляцією передбачає нагрівання зразка матеріалу рідиною, яка через свої властивості не змішується з водою.

Випаровані пари проходять через холодильник, конденсуються і збираються у вимірювальній посудині. Перевагою цього методу є низька похибка (1%), але недоліком є громіздкість та незручність апаратного обладнання.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Екстракційний метод вимірювання вологості використовує реагенти, які взаємодіють з вологою у зразку матеріалу. Характеристики отриманого рідкого екстракту, такі як щільність, показник заломлення, температура кипіння або замерзання, використовуються для визначення вологоутримання зразка. Цей метод особливо підходить для оптично непрозорих матеріалів.

4) Хімічний метод вимірювання вологості полягає в обробці зразка реагентом, який реагує тільки з вологою, присутньою у зразку. Кількість води визначається за кількістю реагенту, що утворився під час реакції. Цей метод відзначається високою точністю, з абсолютною похибкою близько 4%. Однак, випаровування металевого J2, що використовується в цьому методі, відбувається дуже швидко, і його пари є отруйними.

#### Опосередковані методи

1) Кондуктометричні методи вимірювання вологості базуються на вимірі електро-провідності матеріалу при постійному або змінному струмі звукових або промислових частот.

Коли матеріали які утримують вологу є сухими, вони виступають як діелектрики, але при зволоженні вони переходять у напівпровідники. Зміна питомого опору цих матеріалів залежить від рівня вологості в широкому діапазоні.

Електропровідність матеріалу визначається наявністю електролітів, розчинених у воді, що переважно містяться у матеріалі. Залежно від розподілу вологи в матеріалі, який в свою чергу залежить від його пористої структури, характеру розподілу, форми пор, характеру розподілу і розмірів, спостерігається зміна питомої електропровідності відносно вмісту вологи.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Перевагою кондуктометричних методів є відносна простота конструкції вимірювального та простота схеми приладу. Недоліком цих методів є їх вразливість до хімічного складу, впливу температури та щільності досліджуваної речовини. Крім того, вимірювання вологості за допомогою кондуктометрів обмежене вузьким діапазоном, що обмежує їх використання. [2]

2) Метод діелектричної вимірювання використовується для виявлення діелектричної проникності і тангенса кута втрат діелектричних вологих матеріалів і речовин у великому діапазоні частот, включаючи звук і мікрохвилі. Головними характеристиками вивченого матеріалу є залежність діелектричної проникності та діелектричних втрат від вмісту вологи, частоти змінного поля, температури, густини та інших факторів. Перевагою цього методу є його низька чутливість до температурних режимів і щільності матеріалу, висока точність з похибкою всього 0,5% і швидкодія. Однак, недолік полягає у тому, що вологісні, частотні і температурні характеристики сильно залежать від щільності матеріалу та гранулометричного складу в первинному перетворювачі.

3) Надвисокочастотний метод вимірює вологість шляхом оцінки взаємодії електромагнітних хвиль з контрольованою речовиною. Інформація про вологість отримується з амплітуди, фази або з кута електромагнітної хвилі. Модифікації методу: хвильовий, резонансний та метод вимірів у вільному просторі. Перевагою цього методу є висока чутливість, можливість і точність безконтактних вимірів. В цього методу є невелика вразливість до фізико-хімічних властивостей матеріалів які досліджуються. Однак, недоліком є непростота та недешева апаратура, необхідна для його використання.

4) Рентгенівський метод можна використовувати для вивчення розподілу вологості в момент зволоження або сушки.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						17
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перевага методу полягає в його високій чутливості. Однак, варто зазначити, що рентгенівський метод не застосовується в харчовій і сільській промисловості. Недолік полягає у неможливості застосування в харчовій і сільській промисловості.

5) Теплофізичні методи вимірювання вологості базуються на взаємозв'язку між вологою матеріалу та його теплофізичними характеристиками, такими як коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність та коефіцієнт температуропровідності.

6) Оптичні методи вимірювання вологості ґрунтуються на зміні оптичних властивостей матеріалів залежно від їхнього вмісту води. Для вимірювання вологості в твердих матеріалах застосовуються оптичні методи, з використанням областей спектру: видима і інфрачервона. Оптичний метод вимірювання має широке застосування завдяки можливостям безконтактного вимірювання та у великих об'ємах -інтегральної оцінки вологості.

Класифікація оптичних вологомірів залежить від способу виділення аналізованого випромінювання в робочій області спектру, способу отримання випромінювання після взаємодії з досліджуванним об'єктом (вимірювання відбитого або проходячого крізь об'єкт випромінювання) аналізу фотоелектричного сигналу та виду даного досліджуваного об'єкту (рідини, газу, тверді речовини і матеріали). Оптикоелектронні вологоміри на основі світлодіодів можуть бути розрізнені за кількома режимами живлення та варіантами які передбачають використання світлодіодів у вологомірах.

Існує кілька режимів живлення світлодіодів, включаючи постійний струм, імпульсний та функціональний режими.

					<i>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Найпростіший режим живлення – це режим постійного струму, який не вимагає спеціального обладнання. У цьому режимі світлодіоди з'єднуються з джерелом живлення через резистор (струмозадаючий). Постійний струм є найбільш популярним для використання в оптоелектронних вимірювальних які мають лише один канал з використанням модуляції сигналу у оптичному каналі.

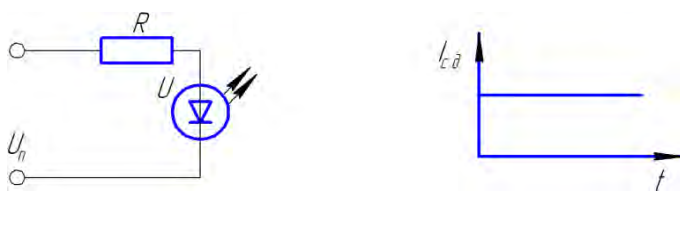


Рис. 1.1. Схема включення (а) та діаграма часу живлення з постійним струмом (б)

Режим живлення імпульсним струмом має кілька переваг порівняно з режимом постійного струму. У даному режимі досягається розділення потоків світлових сигналів за часом, що використовується один фотоприймач з широким спектральним діапазоном. Це спрощує процес підсилення і обробки сигналів, а також знижує енергоспоживання. Такий режим є більш ефективним та економічним.

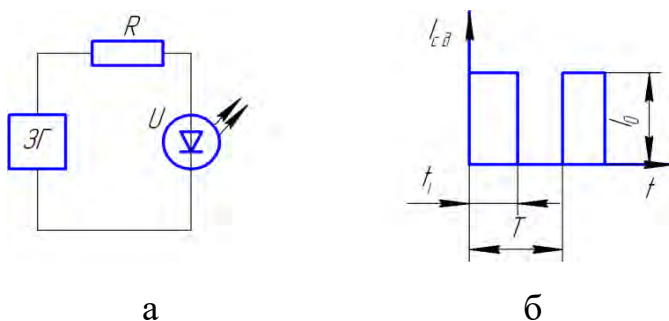


Рис. 1.2. Схема включення (а) та імпульсна діаграма часу режиму живлення (б)

Функціонал даного режим живлення ґрунтується на вимірюванні потоку з розгорткою вимірювання, який має відношення, протилежне або співпадає з законом поглинання випромінювача контрольованого матеріалу.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

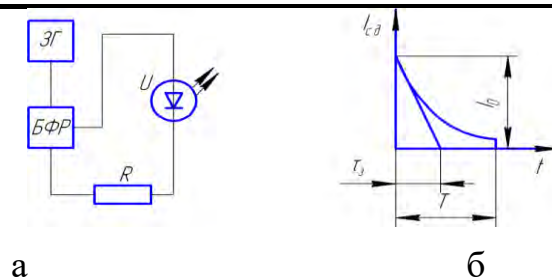


Рис. 1.3. Схема включення (а) та функціональна діаграма часу режиму живлення (б)

Суть цього методу виміру полягає в наступному: об'єкт контролю піддається опроміненню потоком, який змінюється в часі згідно з законом поглинання випромінювання. З гоном реєструється випромінювання, яке проходить через об'єкт контролю, і порівнюється з певним пороговим рівнем. Значення контрольованого параметра визначається за інтервалом часу між моментом початку формування сигналу і моментом перетину із даним пороговим рівнем. Цей сигнал може бути математично представлений у вигляді:  $\Phi(t) = \Phi_0 e^{-t/\tau_e}$

Із основних переваг такого режиму живлення – збільшення продуктивності математичних операцій, можливість отримання відношення двох потоків, а також лінеаризація передаточної характеристики, одночасно спрощуючи пристрій і підвищуючи його точність.

### 1.2.2. СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОГИХ МАТЕРІАЛІВ

У практичному використанні найоптимальнішою маємо довжину хвилі у 1,94 мкм, так-як вода поглинає світло у даному діапазоні діапазоні через явище індукованої поляризації, що відбувається при коливаннях атомів. При наявності вологи в матеріалі, його спектр змінюється. У порівнянні деяких спектральних характеристик сухої речовини (рис. 1.4), (крива №1) та речовини з вологістю 9% H<sub>2</sub>O (крива 2) можна помітити, як на довжині даної хвилі у 1,94 мкм. Вода проявляє значну поглинаючу властивість. Завдяки тому що об'єкт контролю опромінюється інфрачервоним випромінюванням ми маємо вимірювати потужність потоку з цією ж

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						20
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

довжиною хвилі, що йде через об'єкт контролю випромінювання, то вона буде змінюватись залежно від рівня вологості.

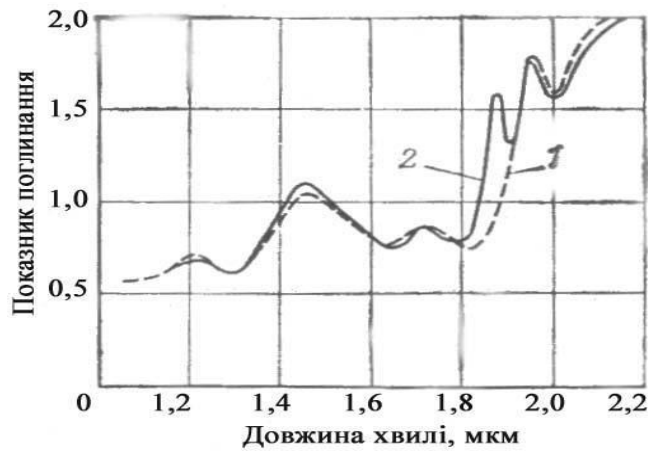


Рис. 1.4. Характеристика спектральних речовин сухої (1) та вологої (2).

Однак при вимірюванні на одній довжині хвилі можуть виникнути помилки саме через розсіювання випромінювання вимірюваною речовиною, її товщиною та іншими факторами. Задля нейтралізації таких помилок застосовується додатковий потік випромінювання який має опорну довжину хвилі, що перебуває поза діапазоном поглинання вологою.[9]

Спектральну характеристику речовини ми можемо отримати за допомогою спеціальних спектрофотометрів або дискретних інтерференційних світлофільтрів. [15] На рис. (1.5) зображена принципова схема монтажу, що надає можливість отримувати відносні коефіцієнти відбиття і також чутливість в ІЧ-діапазоні з використанням касети, що налічує 20 вузькосмугових інтерференційних світлофільтрів із різними довжинами хвиль в інтервалі пропускання 0,08 – 0,03 мкм. Дані світлофільтри в діапазоні від 38% до 60%, мають пропускання в центрі смуги, а фонове пропускання становить від 0,5% до 1%. В якості еталонного матеріалу використовується сірчаноокислий барій, який має коефіцієнт відбиття майже рівний нулю у такому діапазоні. Кут радіального спостереження можемо побачити у вигляді:  $\Theta = 10 \div 50^\circ$ .

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

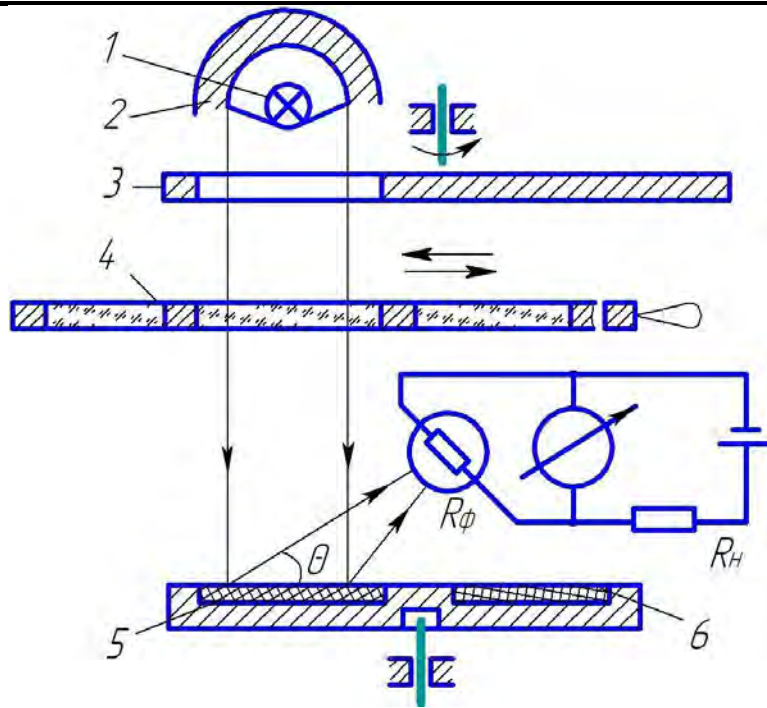


Рис. 1.5. Монтажна схема для досліджень відносних коефіцієнтів чутливості та відбиття: 1 – випромінювач; 2 – параболоїдний відбивач; 3 – модулятор; 4 – касета світлофільтрів; 5 – еталонний матеріал; 6 – досліджуваний матеріал.

Сигнали приладу при досліджуванні опромінювання еталонного та еталонного досліджуваного матеріалів рівні:

$$U_{\delta} = k_1 \rho_{\delta}; \quad U_e = k_2 \rho_e; \quad (1.1)$$

$k_1, k_2$  це коефіцієнти перетворення, вони є залежними від налаштувань приймача, випромінюючої системи та світлофільтру. Через те що дані виміри проходили у однакових умовах, то коефіцієнти  $k_1$  і  $k_2$ , рівні один одному. Звідси отримуємо відносний коефіцієнт

$$\rho_0 = \rho_{\delta} / \rho_e = U_{\delta} / U_e, \quad (1.2)$$

Якщо дані параметри чутливості в інтервалі вологості залишаються незмінними, тоді чутливість можна уявити у %, як переміну коефіцієнта відбиття на 1% зміни вологості  $S = (\rho_{\delta 1} - \rho_{\delta 2}) \cdot 100 / \rho_{\delta 1} (\omega_1 - \omega_2)$ ,

(1.3)

де  $\rho_{\delta 1}$  і  $\rho_{\delta 2}$  це дані коеф. Відбиття матеріалу за умови вологості:  $\omega_1$  і  $\omega_2$ .

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.2.3.ІЧ-ВОЛОГОМІРИ, ЗАСНОВАНІ НА ПРИЙОМІ ВІДБИТОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

ІЧ-вологомір, який працює за принципом прийому відбитого випромінювання (рис. 1.6), складається з вимірювального пристрою і вимірювальної головки.

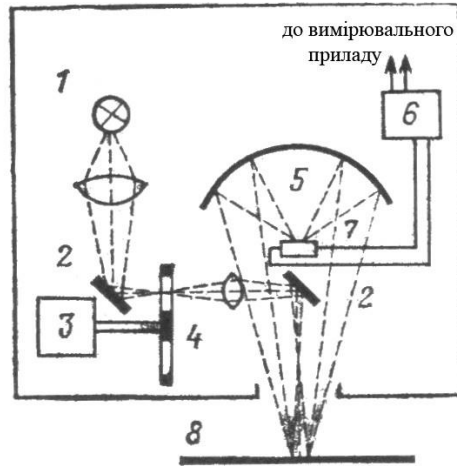


Рис. 1.6. Вологомір, оснований на прийомі відбитого випромінювання: 1 – лампа; 2 – дзеркало; 3 – двигун синхронний; 4 – диск з інтерференційними фільтрами; 5 – дзеркало увігнуте; 6 – попередній підсилювач; 7 – фотоприймач; 8 – об’єкт контролю.

Модулятор, який приводиться у дію синхронним двигуном, має оснащення з двох світлофільтрів. Довжини хвиль для опорного і вимірювального каналів найбільш підходящі дорівнюють 1,9 мкм і 1,7 мкм. [10]

При обертанні модулятора, промінь світла від джерела випромінювання 1 (розжарювальна лампа) переривається за частоти 100 Гц, і дані потоки випромінювання, що пройшли через перший і другий світлофільтри, потрапляють послідовно на дзеркало 2 на опорний і вимірювальний канали відповідно до їх довжин хвиль. Поворотне дзеркало направляє ці чергуючі потоки на контрольований об’єкт 8. Відбиті від обох потоків частинки випромінювання збираються увігнутим дзеркалом 5 і фокусуються на світлочутливій поверхні фотоприймача з сірчистого свинцю. Сигнал з фотоприймача подається на

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередній підсилювач 6, розташований у вимірювальній головці, що дозволяє отримати достатньо потужний сигнал для передачі по дроту на відстань до 100 метрів. Схема вологоміра, яка показана на рисунку 1.9, включає підсилювач 1, електронний перемикач 2 для розділення сигналів від опорного і вимірювального потоків, підсилювачі з коефіцієнтом підсилення 3 і 4, випрямлячі 5 і 6, крайовий підсилювач 7, реєструючі прилади 8, перемикач режиму роботи 9 і блок автоматизованого контролювання 10. [12]

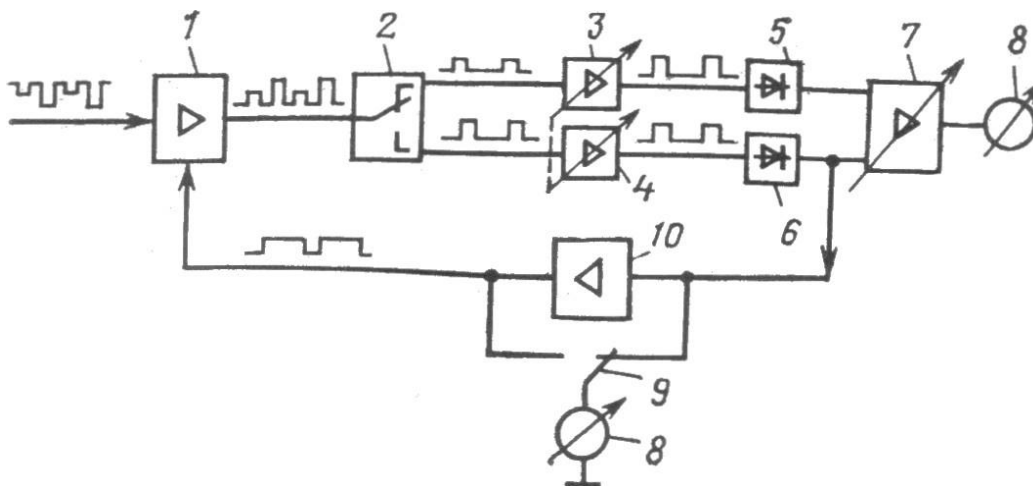


Рис. 1.7. Двуххвильовий вологомір

Сигнал спрямований від опорного та вимірювального каналів, що виходить з вимірювальної головки, передається по сполучному кабелю до вхідного вимірювального механізму. Вимірювальний сигнал каналу має меншу амплітуду. Підсилювачем 1 сигнал збільшується до зручного рівня для подальшої обробки, і за допомогою електронного перемикача 2 він розділяється на опорний та вимірювальний сигнали. Після детектування обидва сигнали подаються на крайовий каскад (диференціальний підсилювач) 7. Подальше подання сигналу відбувається на реєструючий прибор 8. Нам дозволяє здійснювати контроль за роботою пристрою перемикач режиму роботи 9. Вихідний струм вимірювального пристрою знаходиться в діапазоні від 0 до 20 мА; вихідна напруга у даному випадку становить від 0 до 1 В для потужностей, що перевищують 50 кОм.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.2.4. ІЧ-ВОЛОГОМІРИ, НА ОСНОВІ ПРИЙМАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЯКЕ ПРОХОДИТЬ КРИЗЬ ОБ'ЄКТ КОНТРОЛЮ

Вологоміри, що використовуються для вимірювання вологості на основі пропускання випромінювання через контрольований об'єкт, можуть мати дво- або тришарову конструкцію. Розділення випромінювання та отримання опорного і вимірювального потоків неможна здійснювати під час проходження випромінювання через контрольований об'єкт.[3] Вологість матеріалів і твердих речовин можна дізнатись шляхом просвічування внутрішнього середовища або пропускання повітря через вимірювальну кювету міжшарового простору, тоді як для порівняння використовується кювета з повітрям навколишнього середовища. Якщо вологий зразок знаходиться у відкритій атмосфері, відбувається насичення його парою води з атмосфери, якщо вологість атмосфери вища, ніж у контрольованій речовині. Навпаки, якщо вологість навколишнього середовища нижча за вологість контрольованої речовини, відбувається випаровування. Мінімальний темп, необхідний для досягнення рівноваги, може бути визначений за відповідним виразом:

$$t_{\min} = [V\gamma_H / (100k_D)] \ln[4V\gamma_H \mu(\varphi_1 - \varphi_2) / (\pi D_0^2 \gamma_0 \Delta_{\text{дон}} z_r)], \quad (1.4)$$

де  $\gamma_0$  – щільність матеріалу;  $\gamma_H$  – щільність насиченої пари;  $\mu$  – коефіцієнт для урахування внеску різних шарів речовини у вихідний сигнал;  $\Delta_{\text{дон}}$  – припустима помилка через зміну вологості досліджуваного зразка зразка;  $k_D$  – коефіцієнт швидкості дифузії вологи;  $V$  – об'єм повітря  $\varphi_2$  – вологість даного об'єкту;  $z_r$  – товщина граничного шару речовини;  $D_0$  – діаметр кювети, де знаходиться об'єкт.  $\varphi_1$  – вологість навколишнього повітря;

якщо за умови об'єм навколишнього або внутрішньооб'ємного середовища обмежити та забезпечити умову

$$V \leq \Delta_{\text{дон}} \pi D_0^2 z_r \gamma_0 / [4\gamma_H (\varphi_1 - \varphi_2)], \quad (1.5)$$

(якщо розташувати над об'єктом вимірювальну порожнину або помістити її в сам об'єкт з меншим об'ємом, ніж контрольований об'єкт, то можна здійснити

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання потоку через цю порожнину і зробити висновок про вологість об'єкта. Схеми таких пристроїв приведені на рис. 1.8.)

Однак, недоліком цього методу вимірювання вологості є його низька швидкодія, яка обумовлена часом насичення вимірювальної порожнини парами води. У приладі фірми Shell, функціональна схема якого зображена на рис. 1.9, використовується інший підхід. Він передбачає опромінювання контрольованого об'єкту, а потім розщеплення отриманого випромінювання на опорну і вимірювальну довжини хвиль.

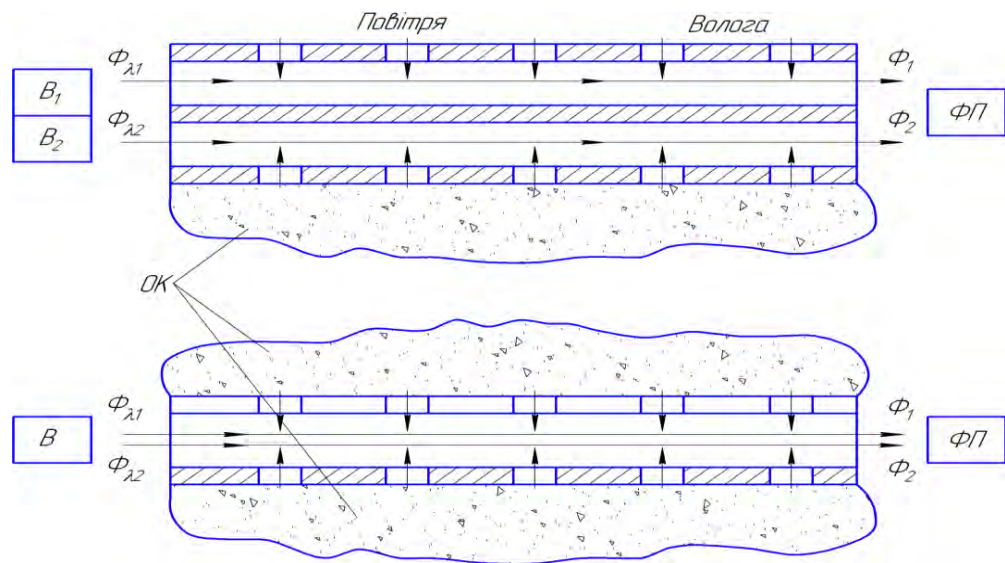


Рис. 1.8. Вологоміри з просвічуванням поверхневого середовища (а) і внутрішньооб'ємної порожнини (б) контрольованого об'єкту.

Система вимірювання пропускання світлового потоку складається з лампи розжарювання, кювети з досліджуваним матеріалом, вимірювача, опорних інтерференційних світлофільтрів і фоторезистора. Спочатку світловий потік проходить через кювету з матеріалом, а потім, через певні проміжки часу, проходить через модулятор, на якому встановлені обертаючі інтерференційні опорні світлофільтри. Світло попаде до фоторезистору а він в свою чергу згенерує дві серії імпульсів; амплітуди яких будуть пропорційно відносні випромінюванню на двох різних довжинах хвиль, що проходять через зразок.[13]

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

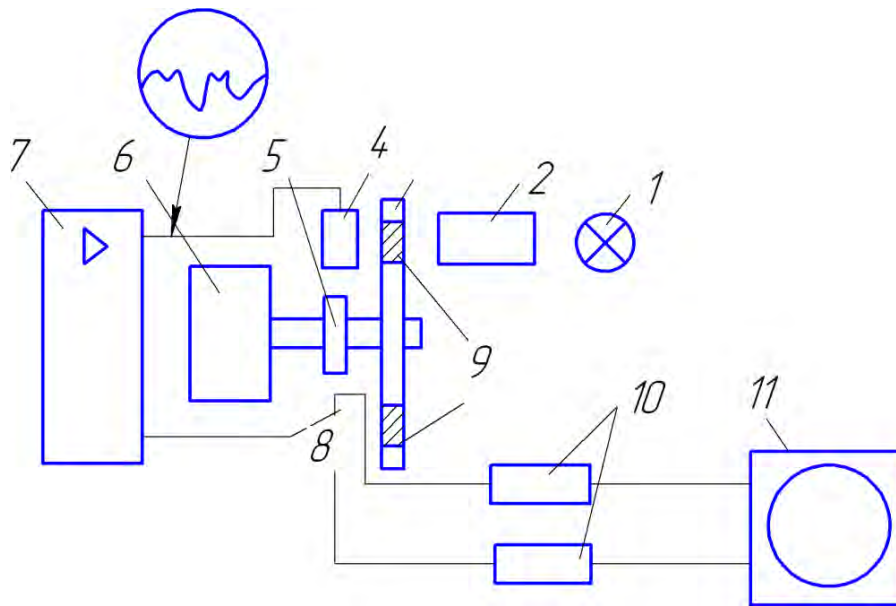


Рис. 1.9. Вологомір Shell: 1 – джерело світла; 2 – кювета з досліджуваним матеріалом; 3 – модулятор; 4 – фоторезистор; 5 – магніт; 6 – електродвигун синхронний; 7 – підсилювач; 8 – перемикач; 9 – інтерференційні світлофільтри; 10 – накопичувальні схеми; 11 – реєструючий прилад.

Сигнали, що надходять з фоторезистора, піддаються посиленню, розділенню і подаються на дві окремі накопичувальні схеми, які у наслідку перетворюють їх на напругу постійного струму, відносно амплітудам даних імпульсів. Як налідок, відношення двох напруг реєструється на виході реєструючого приладу. Даний прилад може бути залучений до контролю вологості як і в газоподібних, так і у рідких речовинах. [14] Товщина кювети може бути до 18 см. Нижня межа діапазону дорівнює 0,025%. Висвітлені вище (Вологомір, електрична та оптична схеми на рис. 1.10,) працюють наступним чином: потік світла від розігрітої лампочки иде через конденсор, після цього через кювету з досліджуваною кислотою і потрапляє в об'єктив. Промінь обертаючись з частотою 44 об/хв., проходить через обтюратор з кількома світлофільтрами. З яких, один пропускає ІЧ-випромінювання та иде через розчин, інший містить одну або кілька довжин хвиль, що

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

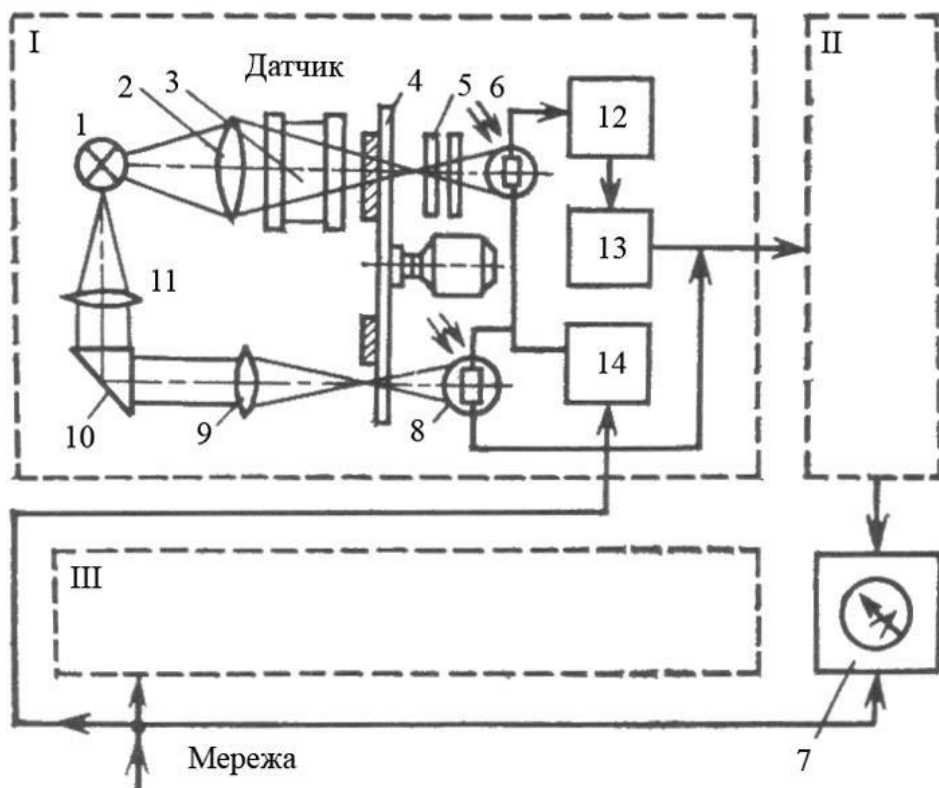
відповідають смугам поглинання води. Ці два потоки порівнюються, проходячи через одну й ту саму кювету, яка мінімізує вплив забруднень, помутніння кислоти тощо. Позаду модулятора розташований фоторезистор, чутливий до світла в діапазоні 1-2,5 мкм.

Принцип роботи цього пристрою ґрунтується на вимірюванні логарифму відношень світлових потоків  $\ln(\Phi / \Phi_1)$ ;  $\Phi$  позначає вимірювальний потік світла, який йде через смугу поглинання вологи; В той час як,  $\Phi_1$  позначає опорний світловий потік, який минує смугу поглинання вологи. [19]

З правильним підбором опорного світлового потоку  $\Phi_1$ , вимірюючи значення  $\ln(\Phi / \Phi_1) = k_B c d = D$ , (1.6)

Цей показник залежить від коефіцієнта поглинання води  $k_B$ ; концентрація води –  $c$ ; товщина самої кювети –  $d$ ; оптична щільність –  $D$ .

При фіксованих значеннях коефіцієнта поглинання води  $k_B$  і оптичної щільності  $D$ , вимірювальне значення  $\ln(\Phi / \Phi_1)$  може вказувати на кількість води у кислоті.



					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис. 1.10. Інфрачервоний концентратомір; I – датчик; 1 – лампа розжарювання; 2 – конденсор; 3 – кювета з досліджуваною кислотою; 4 – модулятор; 5, 9 і 11 – дані об’єктиви; 6, 8 – фоторезистори; 7 –прилад, що реєструє; 10 – призма; 12 – логарифмічний каскад; 13 – підсилювач; 14 – стабілізатор; II – блок електронний; III – стабілізований блок живлення.

### 1.2.5. ОПТОЕЛЕКТРОННІ ВОЛОГОМІРИ

Оптоелектронні вологоміри твердих речовин і матеріалів можуть бути реалізовані за допомогою різних принципів: прийом відбитого випромінювання, прийом випромінювання, що пройшло через об’єкт, або використання реагенту та просвічування внутрішньооб’ємного середовища.

Наприклад, напівпровідниковий ІЧ-вологомір, на (рис.1.11), приймає випромінювання, відбитого від даної контрольованої поверхні. Такий вологомір використовується для виміру вологості у текстильних матеріалах. Деякі наукові дослідження таких спектрів як: відбиття і поглинання інфрачервоного випромінювання вологих текстильних зразків показали, що основна інформація про вологовміст отримується при вимірюванні на хвилі довжиною 1,93 мкм. На довжині 1,79 мкм. Використовується для формування опорного сигналу, який компенсує вплив товщини матеріалу, його температури та коливань поверхні на результати вимірювання. Сигнал на хвилі довжиною 2,1мкм. Враховує фізико-хімічні властивості волокна, які впливають на результативність даного вимірювання.

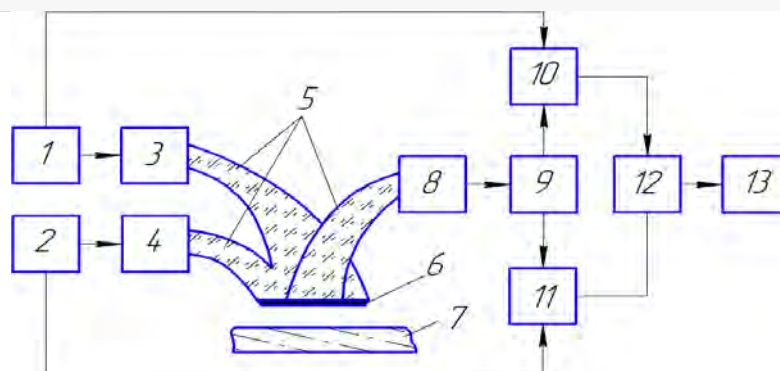


Рис. 1.11. Інфрачервоний вологомір на основі відбитого випромінювання.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робота вологоміра включає такі етапи:

1) Існують два імпульсні генератори живлення, які по черзі живлять ІЧ-світлодіоди номер 1 та номер 2. Ці світлодіоди випромінюють ІЧ-потік зі своїми власними частотами  $f_1$  і  $f_2$ .

2) Модульовані ІЧ-потіки номер 3 та номер 4, з найбільшими хвильовими довжинами 1,94 та 1,7 мкм., идуть до діоду номер 5 до концентратора номер 6, який випромінює світло на елемент номер 7 для вимірювання його даної вологості.

3) Частина ІЧ-потіку, яка відбивається від матеріалу, залежить від його вологості і потрапляє на елемент номер 6. Там це світло перетворюється фотоприймачем номер 8 на електричний імпульс, який йде до підсилювача номер 9.

4) Сигнал з підсилювача 9 йде до входу двох детекторів 10 та 11, які синхронізуються з сигналами які приходять від генераторів 1 та 2. Це дає змогу поділити потоки ІЧ-випромінювання за їх хвилями, наприклад:

$$\lambda_1 = 1,93 \text{ мкм} \text{ та } \lambda_2 = 1,79 \text{ мкм.}$$

5) Сигнали, що вибираються синхронними детекторами 10 та 11, вводяться в блок обробки 12, який може виконувати функцію звіту про сигнали. Вихідний сигнал цього блоку надсилається до реєстраційного пристрою 13.

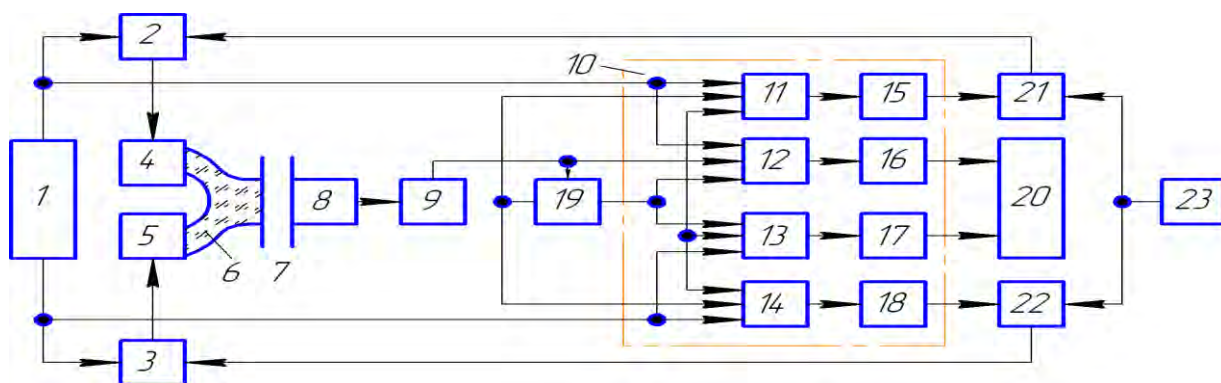


Рис. 1.12. Вологомір на основі випромінювання, що пройшло крізь тканину

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема даного вологоміра, яка показана на рис. 1.12, працює на основі прийому випромінювання, яке йде через об'єкт контролю. Принцип роботи: джерела випромінювання номер 4 та номер 5 крізь підсилувачі 2 та 3 єднаються по черзі до блоку номер 1 імпульсного живлення, який бере участь у керуванні ключів схеми селекції 10. Крізь оптичну систему номер 6 та оптичний канал номер 7, послідовність імпульсів потоків світла з джерела ( $\Phi_{em}$ ) і вимірювального джерела ( $\Phi_{вим}$ ) передаються до фотоприймача 8, де вони перетворюються на послідовність імпульсів  $U(\Phi_{em}), U(\Phi_{вим})$ .

Сигнали  $U(\Phi_{em}), U(\Phi_{вим})$  підсилюються підсилувачем 9 та крізь схему селекції номер 10 передаються на пристрій реєстрації 20. Коли досліджуваний матеріал виходить за межі каналу номер 7, сигнал на виході номер 9 зростає до свого найбільшого значення  $U_{max}$ , яке дорівнює потокам світла від джерел випромінювання номер 4 та 5. Це призводить до переходу порогового елемента 19 в інший стійкий стан, в результаті якого нам відчиняються ключі номер 11 і 14, і зачиняються номер 12 та 13. Значення світлових потоків від еталонного джерела  $\Phi_{o.em}$  і вимірювального джерела  $\Phi_{o.вим}$  зберігаються в пам'яті номер 16 і 17, звідси результат крайнього значення запам'ятовується на пристрої номер 20. [18]

Сигнали  $U(\Phi_{o.em})$  і  $U(\Phi_{o.вим})$ , що складаються з послідовності електричних імпульсів, отриманої з підсилувача 9, розділяються за допомогою ключів 11 і 14, які керуються за допомогою блока імпульсного живлення 1. Ці сигнали передаються до елементів пам'яті номер 15 і 18, після чого передаються на блоки номер 21 і 22, де вони порівнюються з опорним сигналом  $U_{on}$  від джерела напруги номер 23.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Сигнали розбалансування, що отримали з блоків 21 та 22 після порівняння, передаються на входи управління потужнісних підсилювачів номер 2 та 3. Це дозволяє налаштувати амплітуду імпульсів, які живлять місця випромінювання 4 та 5. Виходить так що, система автоматичного налаштування надає непереривний потік світла від джерел випромінювання 3 і 4, щоб  $U(\Phi_{o.em})$  та  $U(\Phi_{o.вим})$  залишалися сталими і дорівнювали  $U_0$  незалежно від інших чинників.

При проходженні досліджуваного матеріалу через канал номер 7 відбувається зменшення сигналу на виході номер 9, це призводить до переведення елемента номер 19 у початковий стан. Значення світлових потоків  $(\Phi_{o.em})$  та  $U(\Phi_{o.вим})$  в цей момент запам'ятовуються в комірках пам'яті номер 15 і 18. Під час контролю потоки світла, що йдуть на піддослідний матеріал, тримаються на такому ж рівні  $\Phi_{o.em}$  і  $\Phi_{o.вим}$ .

Використання елементів номер 11-19, 21 і 22 в пристрої для контролю дозволяє забезпечити стабільність сигналів вимірювального і еталонного каналів, незалежно від оточуючих умов, і також старіння елементів. Проте, вологоміри такого типу мають певні недоліки. Наприклад, для їх роботи потрібно використовувати кілька каналів вимірювання, що включають схему селекції та фотоприймач. Це може призвести до певного зниження точності вимірювання через відмінності між каналами і можливий дрейф вимірювальних і опорних каналів.

Параметрична схема вологоміра, зображена на рис. 1.13, вирішує проблеми, згадані вище. Вологомір складається з блоку імпульсного живлення номер 1, який з'єднаний зі світлодіодами джерел випромінювання 2 і 3. Випромінювані джерела 2 та 3 під'єднані з оптичною системою 4, що поділяє стартовий потік  $\Phi_0(\lambda_{вим}) + \Phi_0(\lambda_{оп})$  від джерел 2 та 3 на кілька потоків. Перший потік  $\Phi_0'(\lambda_{вим}) + \Phi_0'(\lambda_{оп})$  прямує крізь оптичний канал номер 5, до фотоприймача номер 6, а другий потік  $\Phi_0'(\lambda_{вим}) + \Phi_0'(\lambda_{оп})$  – безпосередньо до фотоприймача номер 7,

$$\Phi_0'(\lambda_{вим})/\Phi_0'(\lambda_{вим}) = \Phi_0'(\lambda_{оп})/\Phi_0'(\lambda_{вим}),$$

(1.7)

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



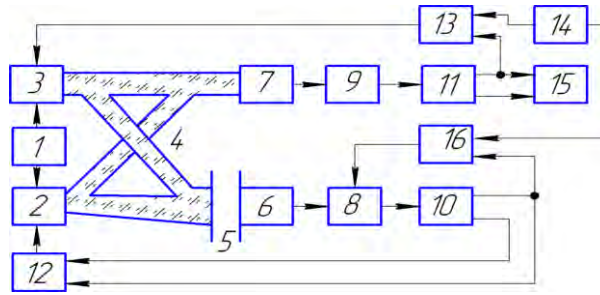


Рис. 1.13. Вологомір з компенсацією дрейфу. Вимірjuвального та опорного потоків.

Фотоприймачі 6 та 7 з'єднані з підсилювачами 8 та 9, які в свою чергу підключені до вхідних каналів схеми селекції 10 та 11. Робота даних схем синхронізується з імпульсним живленням 1. Вхідні канали блоку порівняння 12 пов'язані з вихідними каналами селекції номер 10, в той час як вихід блоку порівняння підключений до входу управління потужністю випромінювання 2. [8]

Елементи 6, 8, 10 і 12 створюють схему автоматичного налаштування потужностей даного джерела випромінювання 2. На виході каналу схеми номер 11 під'єднаний із одним з входів блоку номер 13, а інший вхід під'єднаний до джерела 14. На виході блоку номер 13 пов'язаний з входом який керує потужностями джерела випромінювання. Елементи 7, 9, 11 і 13 створюють стабілізаційну схему потужностей джерела випромінювання 3. Вихідні канали схеми селекції номер 11 під'єднані до даного реєструючого пристрою 15, що відповідає за обробку сигналів, що містять інформацію про данні вологості, згідно з заданим алгоритмом. [6]

$$U_p = \ln U'_{\text{ум}} / U''_{\text{оп}}, \quad (1.8)$$

$U'_{\text{ум}}, U''_{\text{оп}}$  – позначають сигнали, які відповідають потокам вимірjuвального і опорного каналів відповідно, і використовуються для подальшої їх індикації.

У схемі автоматичного підстроювання коефіцієнта підсилення номер 8 використовуються опорний канал номер 10, самого підсилювача 8 і блоку порівняння 16. Перший вхід блоку порівняння номер 16 пов'язаний з виходом опорного каналу номер 10, інший вхід використовується для під'єднання до джерела опорного сигналу.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ

За об'єкт контролю візьмемо бавовняну тканину. Тканина – це виріб, який виготовлений шляхом переплетіння ниток у ткацькому процесі на верстаті.



Рис. 1.14. Приклад тканини, що виробляється

Тканини поділяються на натуральні і хімічні за їхнім волокнистим складом. Натуральні волокна можуть бути рослинного або тваринного походження. До натуральних належать такі волокна: бавовна та льон, отже до тваринного відносяться: шерсть та шовк. Хімічні волокна бувають штучними або синтетичними. Тканини також можуть бути однорідними або неоднорідними (змішаними). Однорідні тканини виготовляються з одного виду волокон, таких як шерсть, бавовна або льон, і називаються чисто шерстяними, чи льняними. Тканини, які складаються з різних волокон, таких як бавовна, штучний шовк, шерсть або льон, відомі як неоднорідні або змішані тканини. Їх також можна класифікувати як напівшерстяні, напівльняні тощо, залежно від преобладання конкретного волокна.

Тканини можуть мати різні типи забарвлення, такі як гладкокольорові, набивні і пістрявоткани. Гладкокольорові тканини мають однотонне забарвлення, наприклад, червоне, синє, зелене і т.д. Набивні тканини мають друкований малюнок, такий як квіти або клітинка. Тканини можна розділити на кілька категорій в залежності від їх волокнистого складу та виробничих методів. Спочатку розглянемо відрізнення

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						34
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

між натуральними і хімічними волокнами. Натуральні волокна поділяються на рослинні і тваринні. До рослинних волокон належать бавовна і льон, а до тваринних відносять шерсть та шовк. Волокна на основі хімії бувають штучними або синтетичними.

Тканини також можна поділити на однорідні (чисто виготовлені з одного типу волокон, наприклад, шерсті, бавовни або льону) і неоднорідні (змішані, виробляються із різних видів волокон, наприклад: основна частина з бавовни, а куток з штучного шовку, шерсті або льону).

Також варто зазначити, що текстильна продукція буває виготовлена за різними методами, такими як неткані вироби, ткацтво та трикотаж. У ткацтві використовуються різні типи переплетінь, такі як саржеве, полотняне, атласне та сатинове. [17] Трикотаж також має свої особливості в переплетінні. Наприклад, фетр є прикладом нетканого матеріалу. Для правильного вибору матеріалу важливо власне знати його основні властивості, які можна визначити шляхом огляду, дотику і використання органів чуття. Наприклад, одним з методів визначення сировини, з якої виготовлений матеріал, є підпалення висмикнутої нитки з нього. Якщо нитка є з бавовни, то під час горіння вона виділятиме блакитне полум'я, матиме запах паленого паперу і перетвориться на сірий попіл. Бавовняні можна поділити на дві категорії: побутові та технічні. Побутові тканини, які становлять близько 80% від загального обсягу, використовуються для пошиття різноманітного одягу, такого як білизня, сорочки, сукні, костюми, куртки, плащі і пальто для використання влітку або впродовж перехідного сезону. Існують також бавовняні тканини, які володіють властивістю вбирати вологу наприклад: рушники і носові хустки. Бавовняні тканини можуть мати різну ширину, наприклад, 80, 90, 140 або 160 см. Бавовняні матеріали дуже міцні, з доброю водопоглинаністю, швидким висиханням, високою стійкістю і здатністю переносити обробку вологою і теплом за підвищених температур.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						35
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

#### 1.4. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНТРОЛЬОВАНОГО МЕТОДУ

Для побудови оптоелектронних вологомірів матеріалів і твердих речовин можуть використовуватися різні методи і принципи роботи. Один з таких методів передбачає прийом відбитого випромінювання. Це означає, що вологість вимірюється на основі властивостей світла, яке відбивається від поверхні матеріалу. Проте цей метод може контролювати лише верхній шар матеріалу, а не всю його поверхню.

Інший метод передбачає прийом випромінювання, яке було проведено крізь контрольований об'єкт (ОК). Такий підхід дозволяє здійснювати контроль вологості по всій поверхні матеріалу. Але варто враховувати, що цей метод може бути менш ефективним для речовин та матеріалів, які погано відбивають або пропускають інфрачервоне (ІЧ) випромінювання.

Інший метод передбачає прийом випромінювання, яке було проведено крізь контрольований об'єкт (ОК). Такий підхід дозволяє здійснювати контроль вологості по всій поверхні матеріалу. Але варто враховувати, що цей метод може бути менш ефективним для матеріалів та речовин, які погано відбивають або пропускають інфрачервоне (ІЧ) випромінювання.

Таким чином, за для виміру вологості тканин і матеріалів оптимальним підходом є використання оптоелектронних вологомірів, побудованих на методі проходження з використанням роздільного датчика. Цей метод дозволяє забезпечити точний контроль вологості по всій поверхні тканини, що є важливим для багатьох застосувань.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ, ТА ЇЇ ОБГРУНТУВАННЯ

Вологомір, який використовує функціональну розгортку за наростаючою експонентою, може забезпечувати безперервне вимірювання вологості. Ця розгортка може бути здійснена використанням одного потоку (опорного) чи одразу обох потоків (опорного та вимірювального) випромінювача. Принцип роботи полягає у використанні наростаючої експоненти для функціональної розгортки зі сторони випромінювача. Це означає, що сигнал, що випромінюється, поступово зростає з часом. Цей метод дозволяє отримати деталізовані дані про вологість і забезпечити точні вимірювання.

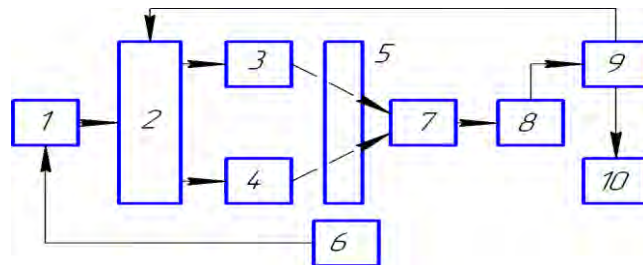


Рис. 1.15. Вологомір по наростаючій експоненті, з розгорткою.

У системі, зображеній на (рис. 1.16 а), задаючий генератор 1 включає в себе терморезистор 6 в частотнозадаючому ланцюзі, Цей терморезистор відправляє імпульси, чия амплітуда змінюється за законом експоненціальності з плином часу. Даний струм потім йде крізь випромінювачі 3 і 4, які пов'язані за допомогою комутатора 2, із задаючим генератором. Випромінювання має певні довжини хвиль:  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ , завдяки цим імпульсам струму, вони направляються до об'єкту контролю 5. Потоки випромінювання, які пройшли крізь середовище контролю від двох пристроїв отримує фотоприймач 7. Від фотоприймача сигнал передається до входу порогового прибору  $U_{\text{пор}}$ . Коли фотоелектричний сигнал від одного з випромінювачів досягає встановленого рівня, пороговий пристрій та тригер 9 спрацьовують, а вихід тригера з'єднано з вимірником різниці тимчасових інтервалів номер 10, яким керує другий випромінювач.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після перемикання комутатора сигнал фотоприймача, отриманий від другого потоку, починає зростати. Коли сигнал досягає певного порогу, тригер знову спрацьовує, і цикл йде по колу. [20] Отримані прямокутні імпульси зі змінними часовими інтервалами  $t_1$  від  $\Phi_1$  та  $t_2$  від потоку  $\Phi_2$  (рисунок 1.16, б) йдуть до входу вимірника різниці часових інтервалів. Якщо температура змінюється, то часові діаграми матимуть вигляд, зображень на малюнку 1.16, в) та г).

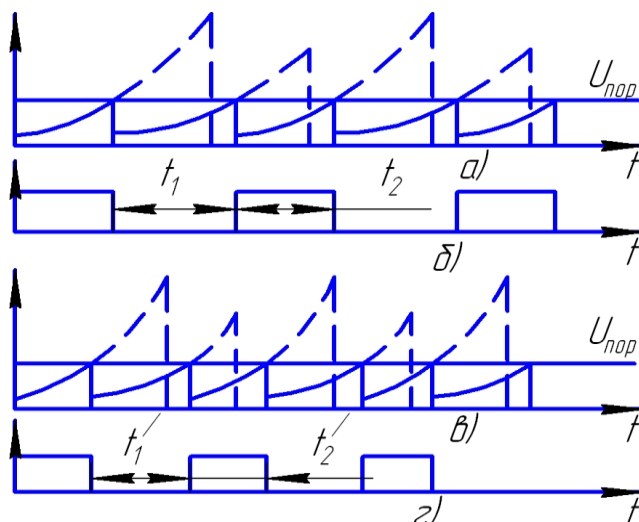


Рис. 1.16. Часова діаграма вологоміра та розгортка за наростаючою Експонентою

На рисунку 1.17 зображена схема вологоміра, який використовує функціональну розгортку за спадаючою експонентою. Рисунок 1.18 показує часову діаграму, що пояснює принцип роботи. По даній схемі  $U_{\Phi_1}$  позначає сигнал від опорного поток,  $U_{\Phi_2}$  позначає сигнал від вимірювального потоку;  $U_{пор}$  позначає граничну напругу;  $t_1$  і  $t_2$  позначають часовий інтервал.

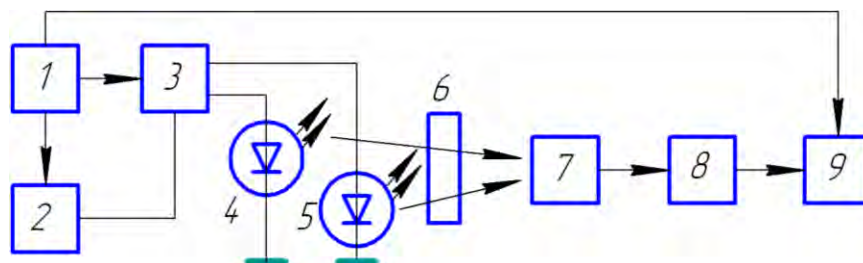


Рис. 1.17. Схема вологоміра за спадаючою експонентою з функціональною розгорткою.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

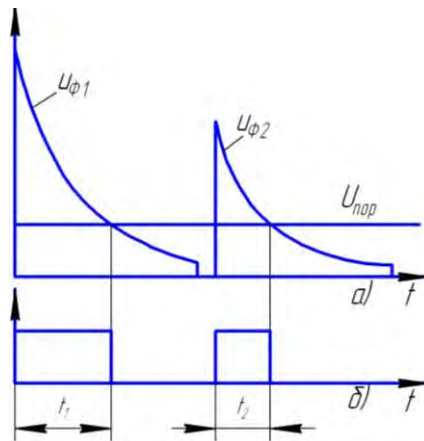
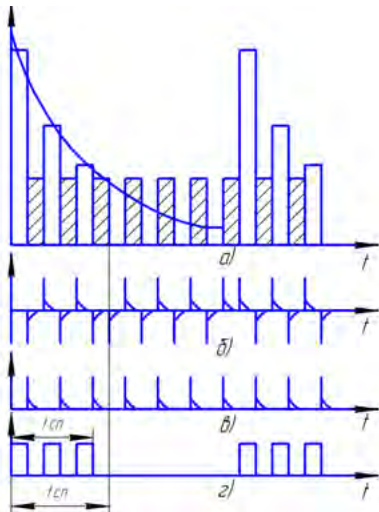
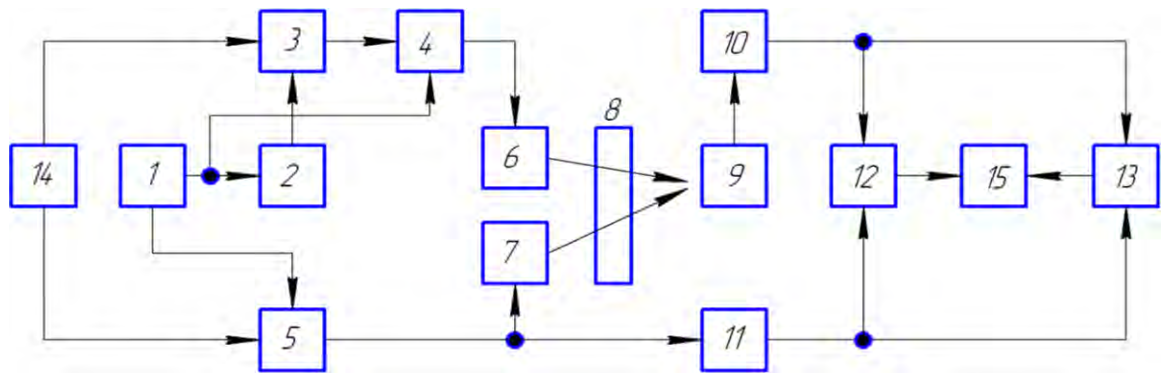


Рис. 1.18. Часова діаграма роботи схеми за спадаючою експонентою та з функціональною розгорткою

За методом безперервної функціональної розгортки на відміну від методу з розгорткою опорного потоку так як добре полегшує процес обробки сигналу. В методі даному нам вимірювальний та опорний потоки випромінювання зсуваються в часі за правилами експоненційного закону. Після взаємодії з контрольованим об'єктом, випромінювання перетворюється на фотоелектричні сигнали, які чергуються від вимірювального та опорного потоків. Дані сигнали рівняються з встановленим пороговим значенням напруги. Порівняння дає часові інтервали, які йдуть по черзі, від самого початку експоненції опорного сигналу до перетину з пороговим рівнем і від початку експоненції вимірювального сигналу аж до пересікання із пороговим рівнем. Відмінність між цими часовими інтервалами пропорційна вологості. У випадку дискретної функціональної розгортки з використанням лише одного опорного потоку, об'єкт контролю опромінюється двома чергуючимися потоками в часі. Заданий опорний потік на довжині хвилі міняється з часом за законом експоненційності. Точно так само вимірюється значення вологості на виході фотоприймача.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						39
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



- 1 – генератор;
- 2 – дільник частоти;
- 3 – модулятор експоненти;
- 4,5 – ключі;
- 6, 7 – світлодіоди;
- 8 – ОК,
- 9 – фотоприймач; 10, 11 – диференційний пристрій; 12 – тригер; 13 – схема співпадіння; 14 – джерело живлення; 15 – лічильник імпульсів.

Рис. 1.19. Вологомір опорного потоку з дискретною розгорткою, часова діаграма роботи схеми та випромінювання (а пояснюється як форма сумарного фотоелектричного сигналу від обох потоків випромінювання; б), в) це форма

продиференційованих сигналів; г) це сигнали з виходу тригера).

Для дискретної функціональної розгортки обох потоків необхідні порогові пристрої. У цьому методі контрольоване середовище опромінюється двома дискретними чергуючимися потоками випромінювання на опорній та вимірювальній довжинах хвиль, що формуються за експоненційним законом (рис. 3.1). Серед розглянутих методів більше всього ефективним є: метод із дискретною розгорткою. Даний метод дає можливість налаштувати потужність самого випромінювання діодів та підвищує співвідношення сигнал/шум, та чутливість, звісно він ще спрощує обробку сигналу, що зменшує апаратні витрати.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ

Дана кінематична схема пристрою, за якою виконується сканування, складається із крокового двигуна ДШ-40-0,01-22,5 (М), а також гвинтів (Г1 та Г2), напрямних (Н1 та Н2), шестерні (Т1) і кількох зубчастих коліс (Т2 та Т3). Зубчасті колеса працюють з шестернею, яка знаходиться саме на валу двигуна, а колеса прикріплені до гвинтів. Гвинти здійснюють зворотний поступальний рух кареток, одна з яких є випромінювальною, а інша – приймальною.

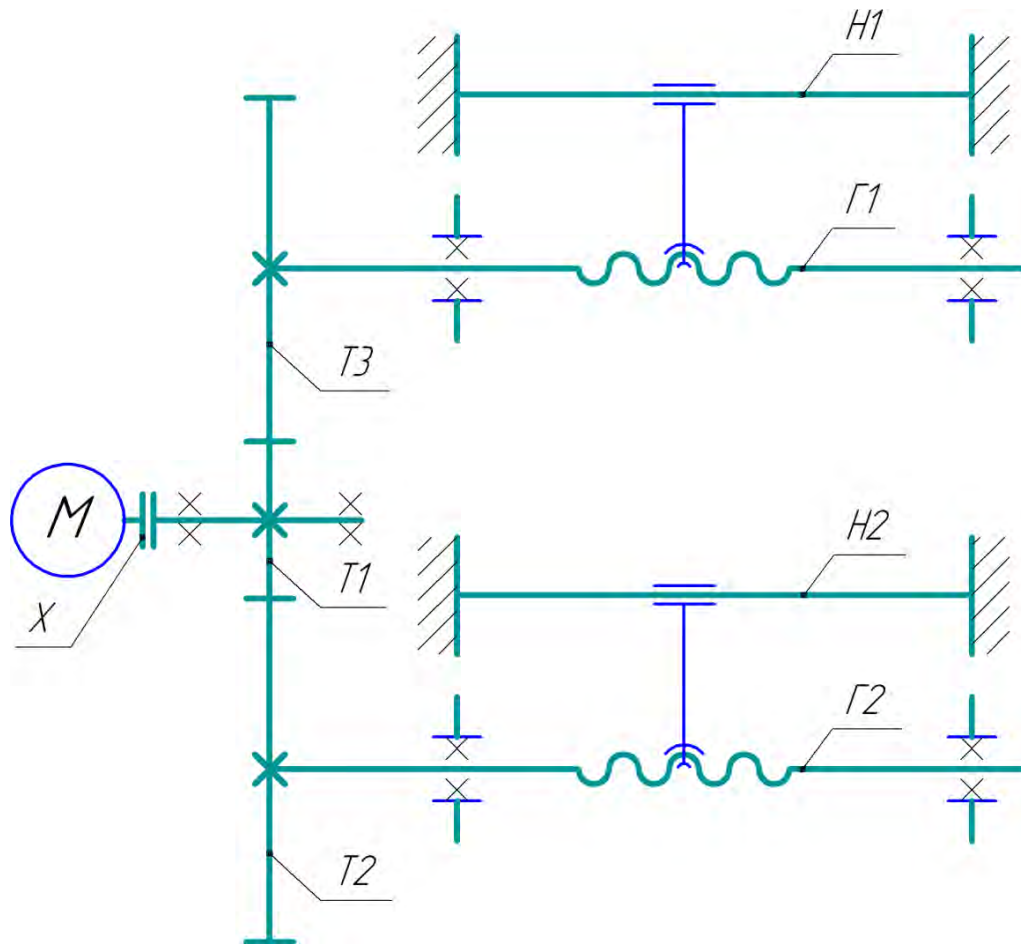


Рис. 2.1. Кінематична схема пристрою сканування

Розрахування пристрою для сканування починаємо з вибору двигуна.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір двигуна. Оберемо двигун за потужністю:

$$N_{ВИХ} = P_{ВИХ} V, \quad (2.1)$$

де  $N_{ВИХ}$  позначає вихідну потужність;  
 $P_{ВИХ}$  позначає силу корисного опору (переміщення);  
 $V$  позначає дану швидкість лінійного переміщення.

Розраховуємо приблизну силу корисного переміщення для двох кареток:

$$P_{ВИХ} = 3(H), \quad (2.2)$$

За швидкість лінійного переміщення ми візьмемо позначену як  $V = 200 \text{ мм/с}$ .

Розрахуємо вихідну потужність:

$$N_{ВИХ} = 3 \cdot 200 \cdot 10 = 0,6 \text{ (Вт)}, \quad (2.3)$$

Отже, визначимо приблизну потужність двигуна, розрахуємо за формулою:

$$N_{ДВ} = 1,2 \cdot N_{ВИХ}, \quad (2.4)$$

Дізнаємось потужність яка буде на вході:

$$N_{ВХ} = \frac{N_{ВИХ}}{\eta_{СП}}, \quad (2.5)$$

де  $\eta_{СП}$  позначає спільний ККД:

$$\eta_{СП} = \eta_{ц} \cdot \eta_{ц} \cdot \eta_{гв} \cdot \eta_{гв} = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,615, \quad (2.6)$$

$\eta_{гв}$  – ККД гвинтової передачі,  $\eta_{гв} = 0,8$ ;

$\eta_{ц} = 0,98$  – ККД циліндричної передачі.

Потужність на вході дорівнює:

$$N_{ВХ} = \frac{0,6}{0,615} = 0,98 \text{ (Вт)}, \quad (2.7)$$

Визначаємо орієнтовно потужність двигуна:

$$N_{ДВ} = 1,2 \cdot 0,98 = 1,176 \text{ (Вт)} \quad (2.8)$$

Обираємо з каталогу двигуна ДШ-40-0,01-22,5 з параметрами:

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний момент

$$M_{НОМ} = 0,01 \text{ (Нм)}, f_{НОМ} = 430 \text{ (крок/с та}$$

$\alpha = 22,5^\circ$ , дізнаємось потужність двигуна:

$$N_{ДВ} = M \cdot \omega_{ДВ} = 0,01 \cdot 168,86 = 1,689 \text{ (Вт)}, \quad (2.9)$$

$$\text{де } \omega_{ДВ} = \alpha \cdot f_{НОМ} = \frac{\pi \cdot \alpha^\circ}{180^\circ} \cdot f_{НОМ} = \frac{\pi \cdot 22,5^\circ}{180^\circ} \cdot 430 = 168,86 \text{ (1/с)}, \quad (2.10)$$

Тобто, двигун обрано вірно. Визначаємо передаточне відношення:

$$i = \frac{n_{ДВ}}{n_{ГВ}} = \frac{\omega_{ВХ}}{\omega_{ГВ}}, \quad (2.11)$$

$$\text{де } n_{ГВ} = \frac{60 \cdot V}{h}, \quad (2.12)$$

а  $h = k \cdot p$ , де  $k$  – кількість заходів різьби,  $p$  – крок різьби.

Вибір трапецеїдальної різьби (згідно з ГОСТ 9484-81) передбачає використання профілю, що відповідає правильній рівнобічній трапеції.

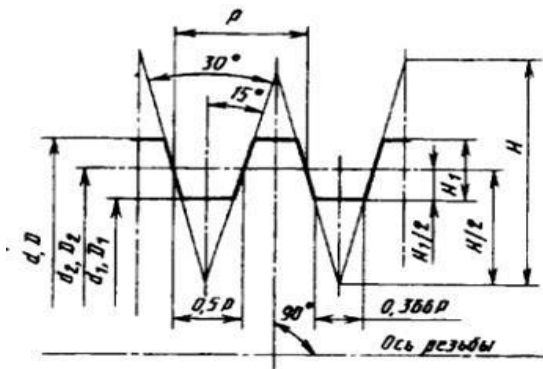


Рис. 2.2. Трапецеїдальна різьба.

Зазначені параметри включають діаметри і шаг різьби для зовнішньої та внутрішньої різьб, а також відповідні висоти профілю, включаючи висоту вихідного трикутника ( $H$ ) і робочу висоту ( $H_1$ ). Конкретно,  $d$  вказує на зовнішній діаметр різьби (гвинта),  $D$  вказує на зовнішній діаметр внутрішньої різьби (гайки),  $d_2$  і  $D_2$  вказують на середні діаметри зовнішньої та внутрішньої різьб відповідно, а  $d_1$  і  $D_1$  вказують на внутрішні діаметри зовнішньої та внутрішньої різьби. Розмір шагу різьби позначений як  $P$ .

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виборі кількості заходів різьби  $k = 2$ , з кроком  $p = 4$ . Розглянемо гвинтову пару з такими розмірами:

- для гвинта: зовнішній діаметр  $d_s = 36$ , та внутрішній діаметр  $d_{вн} = 31,5$ ,

- для гайки: зовнішній діаметр  $D_s = 36,5$ , та внутрішній діаметр  $D_{вн} = 32$ .

Визначається внутрішній діаметр різьби гвинта з врахуванням його міцності на стиск (розтяг) та напруги під час обертання:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot p \cdot \psi}{\pi \cdot [\sigma_{сж}]}} \quad (2.12)$$

$\psi$  позначає коефіцієнт, призначений для розрахунку деформації обертання.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10 \cdot 1,25}{\pi \cdot 12,5}} = 0,36 \text{ мм. Приймаємо } 32 \text{ мм.}$$

Гвинтові механізми застосовуються в різних машинах та приладах за для перетворення обертового руху на прямолінійно поступальний. Головними складовими частинами механізмів гвинтових є гайка та гвинт. Залежно від типу переміщення між гвинтом і гайкою, можна виділити деякі види механізмів:

- 1) гвинт обертається при цьому гайка зміщується (рис. 2.3: 1 позначає гвинт, 2 позначає гайку);
- 2) гайка обертається і під час цього гвинт переміщується;
- 3) гвинт одночасно обертається та переміщується, а гайка залишається нерухомою;
- 4) гайка одночасно обертається та переміщується, а гвинт залишається нерухомим.

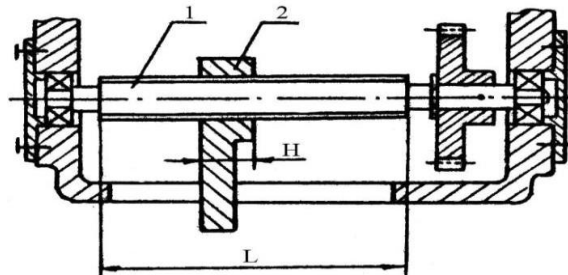


Рис. 2.3. Гвинтовий механізм

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гвинтові механізми мають декілька переваг у зрівнянні з деякими механізмами, що перетворюють обертовий рух на поступальний. Гвинтові механізми відомі своєю високою силою передачі, що дозволяє їм використовуватись для переміщення важких навантажень. Ці механізми дозволяють ефективно зменшити швидкість руху при збереженні потужності. Отже, визначимо значення частоти обертання валу гвинта:

$$n_{ГВ} = \frac{60 \cdot 200}{2 \cdot 4} = 1500 \text{ (об / хв)}, \quad (2.13)$$

Дізнаємось номінальну кутову швидкість валу гвинта:

$$\omega_{ГВ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ГВ}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 157,08 \text{ (1 / с)}, \quad (2.14)$$

Отже передаточне відношення буде дорівнювати:

$$i = \frac{168,86}{157,08} = 1,074994 \quad (2.15)$$

Припустимо передаточне відношення дорівнює 1,1.

Звіримо похибку:

$$\delta = \frac{1-1,1}{1} \cdot 100\% = -10\% > 2,5\%, \quad (2.16)$$

Вище вказана передача циліндрична зубчаста використовується для даного передаточного відношення. Зубчасті передачі складаються з зубчастих коліс і використовуються для передачі обертального руху між віомими валами, які можуть бути з паралельними, перетинаючими або перехресними осями. Вони також здатні перетворювати обертовий рух на поступальний і навпаки. Колесо з меншою кількістю зубців – це шестерня, тоді як колесо з більшою кількістю зубців - є колесом. За допомогою зубчастих передач можна ефективно передавати обертовий рух та керувати передаточними відношеннями між валами.[11]

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						45
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		



Рис. 2.4. Показано циліндричну зубчасту передачу, підберемо кількість зубців:

(2.17)

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 1,1,$$

Визначаємось з кількістю зубців у шестерні  $z_1 = 18$ , отже зубців колеса  $z_2 = i \cdot z_1 = 1,1 \cdot 18 = 19,8 \approx 20$ .

Звіримо передаточне відношення:  $i = \frac{20}{18} = 1,1$ .

Дізнаємось відносну похибку:

$$\delta = \frac{1-1,1}{1} \cdot 100\% = -10\% > 2,5\%,$$

*Визначаємо орієнтовні розміри*

Отже, визначимо параметри циліндричної передачі.

Дано діаметр ділительного кола:

$$d = m \cdot z_i \quad (i = 1, 2), \quad (2.19)$$

де  $m$  позначає модуль, візьмемо за стандартом  $m = 2$  мм.

Тоді:  $d_1 = 2 \cdot 18 = 36$  мм  $d_2 = 2 \cdot 20 = 40$  мм

Дізнаємось робочу ширину зубчатого вінця:

$$b_W = \psi_{bd} \cdot d_1, \quad (2.20)$$

де  $\psi_{bd}$  – коефіцієнт товщини колеса, згідно до стандарту  $\psi_{bd} = 0,3$

$b_W = 0,3 \cdot 36 = 10,8$  мм. Приймаємо за  $b_W = 15$  мм.

Тоді: товщина стінок рівна  $h = 10$  мм, ширина підшипникового вузла дорівнює  $t = 10$  мм, [4]

зазор рівняється  $k = 5$  мм.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри:

$$L = d_1 + d_2 + 2 \cdot (h + k) = 36 + 40 + 30 = 106 \text{ мм}, \quad (2.21)$$

$$B = b_w + 2 \cdot (t + k) = 15 + 30 = 45 \text{ мм}, \quad (2.22)$$

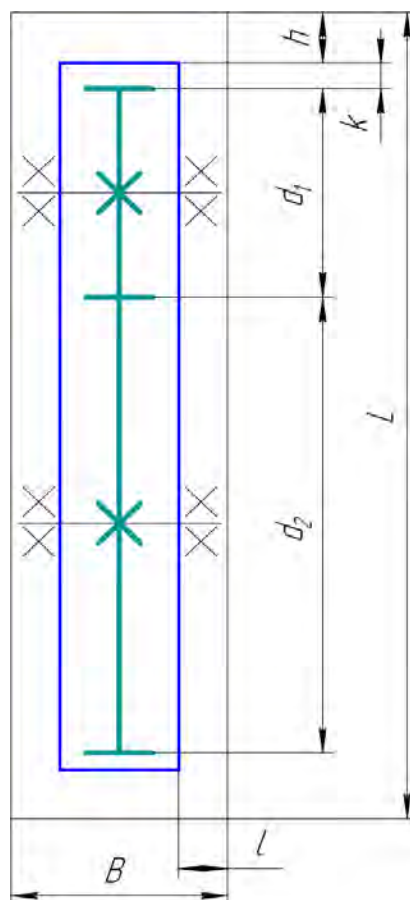


Рис. 2.5. Циліндрична передача

## 2.2. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СХЕМИ

### 2.2.1. РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СХЕМИ

Схема оптична складається з трьох лінз, двох світлодіодів (1, 2) і фотодіоду 6. Світлодіод 1 розташований у самому фокусі лінзи номер 3 для формування паралельного пучка світла та колімації випомінювання на виході з лінзи. Цей пучок йде крізь тканину 7, та потрапляє на лінзу номер 5, яка виконує функцію фокусування. У даному фокусі розташувався фотодіод приймаючий світло під номером 6.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, використовуючи цю оптичну схему, досягається мінімальна втрата світла, що дозволяє уникнути необхідності встановлювати надчутливий фотоприймач.

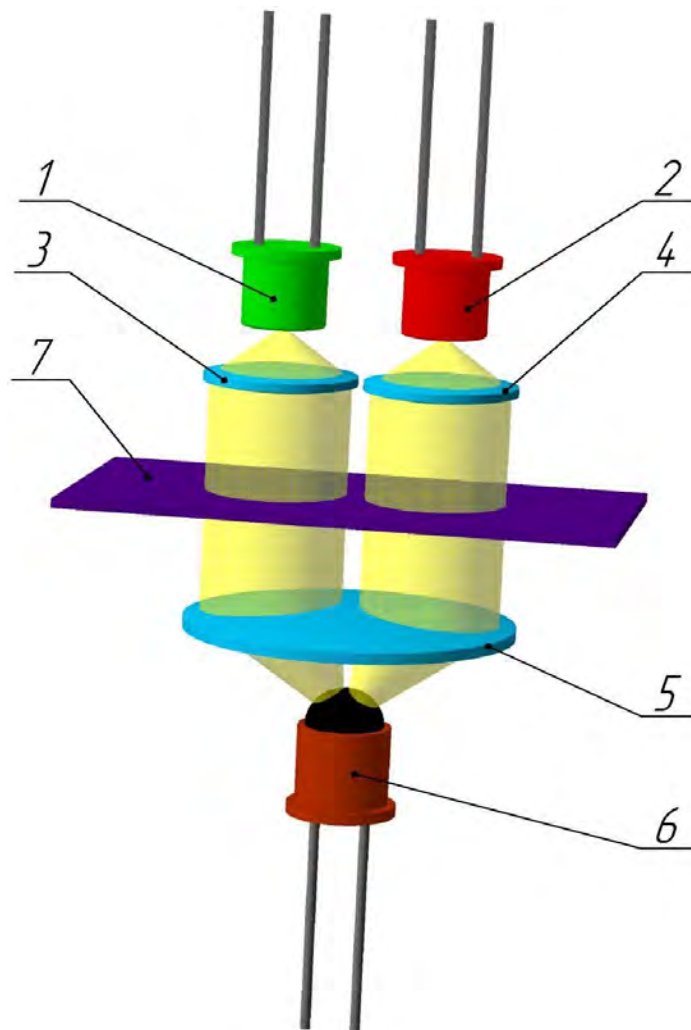


Рис.2.6. Схема оптична

### 2.2.2. РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ СХЕМИ

За використання діодів LED17 (які мають довжину хвилі 1,7 мкм) та LED19 (з хвилею – 1,9 мкм) як джерел випромінювання з розходженням пучка світла:  $\alpha = 30^\circ$ ,

- 1) Тоді розрахуємо габаритні розміри першої лінзи з фокусною відстанню  $F = 6,5$  мм. [5]

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



З урахуванням розсіювання пучка, з використанням трикутника, розрахуємо світловий діаметр лінзи  $D_{cv}$ .

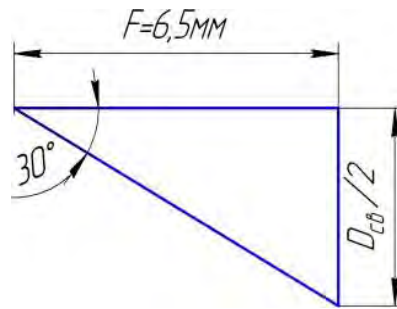


Рис.2.7. Схема для розрахунку розсіювання пучка

$$D_{cv} = 2(6,5 \cdot \operatorname{tg}30^\circ) = 7,5 \text{ мм}, \quad (2.23)$$

За допомогою Таблиці 1 ми дізнаємось запитуваний діаметр лінзи –  $D$ . Зараз ми використаємо спосіб для кріплення лінз за допомогою завальцовки.  $D = D_{cv} + 0,8 = 7,5 + 0,8 = 8,3 \text{ мм},$  (2.24)

Згідно ГОСТ 6636-69, ми методом виключення оберемо стандартну лінзу. Таблиця 2.1. Показує залежність  $D$  від  $D_{cv}$ .

$D_{cv}$ , мм	Найменший $D$ , мм	
	кріплення завальцовкою	кріплення кільцем
до 6	$D_{cv} + 0,6$	–
6 – 10	$D_{cv} + 0,8$	$D_{cv} + 1,0$
10 – 18	$D_{cv} + 1,0$	$D_{cv} + 1,5$
18 – 30	$D_{cv} + 1,2$	$D_{cv} + 1,8$
30 – 50	$D_{cv} + 1,5$	$D_{cv} + 2,0$
50 – 80	$D_{cv} + 2,0$	$D_{cv} + 2,5$
80 – +120	–	$D_{cv} + 3,0$
120 – 180	–	$D_{cv} + 4,0$

Залежно від  $D$ (зовн. діам.), ми зможемо дізнатись необхідну нам товщину лінзи по краю, позначену як  $t$ .

Для вибору правильної товщини  $t$ , ми звертаємося до ГОСТ 3-490-71 і використовуємо Таблицю 2.2:

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. Залежність  $D$  від  $t$ .

$D$ , мм	$t$ , мм
До 6	0,8
6-10	1,0
10-18	1,2
18-30	1,6
30-50	2,0
50-80	2,4
80-120	2,3
120-180	4,0

Беремо  $t=1$  мм. Дізнаємось товщину лінзи по осі  $d$ (внут.діам.). Наразі- $D$  зв'язана з  $t$  співвідношенням та зовнішнім діаметром :

$$4d + 10t \geq D, \quad (2.25)$$

$$d \geq 0,4$$

За ГОСТ 3-490-71 вибираємо  $d=0,5$  мм.

За геометричними розмірами лінзи можемо визначити радіус її кривизни, позначений як  $R$ . За ГОСТ 1807-75 вибираємо значення  $R$  рівне 32 мм. Далі, із таблиці 2.3 дізнаємось потрібний розмір фаски, зазначений як  $m$ :

Таблиця 2.3. Залежність  $D$  від  $m$ .

$D$ , мм	$t$ , мм
6-10	$0,3^{+0,2}$
10-18	$0,4^{+0,2}$
18-30	$0,5^{+0,3}$
30-50	$0,7^{+0,5}$

Беремо значення  $m=0,3^{+0,2}$ . Кут нахилу  $m$  становить  $45^0$ . За ГОСТ 3-1901-73 використовуємо просвітлювальне покриття лінзи з позначенням  $\otimes_A -350.44P.43P.350$  За ГОСТ 3-28-77 оберемо скло СТК119 для лінзи.

2) Для другої лінзи вибираємо фокусну відстань  $F$  рівну 30мм. Врахувавши розсіяння даного пучка, дізнаємось світловий діаметр лінзи  $D_{св}$ .

$$D_{св} = 2(30 \cdot tg30^0) = 34,5 \text{ мм}, \quad (2.26)$$

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За таблицею номер 1 ми дізнаємось шуканий діаметр лінзи  $D$ . За наявності вібрацій, ми будемо користуватись способом кріплення лінзи за допомогою завальцовки:

$$D = D_{ce} + 1,5 = 34,5 + 1,5 = 36 \text{ мм}, \quad (2.27)$$

За ГОСТ 6636-69 ми оберемо звичайну лінзу із зовнішнім діаметром-36 мм. Товщину лінзи  $t$  вибираємо згідно ГОСТ 3-490-71, із таблиці 2.2, і отримуємо значення  $t=2$  мм. Для визначення товщини лінзи по осі  $d$  (внут.), використовується зв'язок між зовнішнім діаметром  $D$  і товщиною  $t$ :

$$4d + 10t \geq D, \quad (2.28)$$

$$d \geq 4$$

За ГОСТ 3-490-71 обираємо  $d=5$  мм.

Із геометричних розмірів лінзи визначається її радіус кривизни  $R$ . За ГОСТ 1807-75 отримуємо значення  $R=66$  мм. З таблиці 2.3 визначається необхідний розмір фаски, який обчислюється як сума двох значень:  $m=0,7^{+0,5}$ . Кут нахилу фаски дорівнює  $45^\circ$ . За ГОСТ 3-1901-73 вибирається просвітлювальне покриття лінзи з кодом  $\otimes_A -350.44P.43P$ . Щодо скла для лінзи, за ГОСТ 3-28-77 вибирається СТК119.

### 2.2.3. СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ СХЕМИ

Здійснюємо розрахунок, щоб визначити, який світловий потік потрапляє на фотоприймач. Початкова потужність випромінювання світлодіода складає  $P=1$  мВт. У світових одиницях 1 Вт дорівнює 683 лм. Світловий потік від світлодіода вважається 100%. Кожна сторона лінзи втрачає приблизно 4% початкового світлового потоку. Після проходження світлового потоку через першу лінзу втрачається 8% світлового потоку:

$$0,683 - 100\%$$

$$x - 8\%$$

$$x = 0,05 \text{ лм.}$$

$0,683 - 0,05 = 0,633$  лм. Після проходження отримуємо:  $0,633 - 0,013 = 0,62$  лм.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Світлового потоку втрачається втрачається  $0,62 - 0,05 = 0,57$  лм після проходження другої лінзи, Саме так, даний фотоприймач отримує потік світла  $\Phi = 0,57$  лм.

Замість фотоприймача обираємо фотодіод J22 у корпусі 18D. Він виготовлений з матеріалу Ge (германію) і має наступні характеристики: Інтегральна чутливість:  $0,7$  А/Вт. ; Робочий діапазон хвильових довжин: від  $0,4$  до  $2,2$  мкм.; довжина хвильової довжини при найбільшій чутливості дорівнює  $1,5$  мкм.

Максимальний темновий струм фотодіода становить  $4$  мкА, а площа його чутливого елемента –  $0,78$  мм<sup>2</sup>. Фотодіод J22 має діапазон даних робочих температур від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  і максимальну робочу частоту  $35700$  кГц.  $10$  В становить напруга живлення фотодіода.

Для розрахунку струму, який опиняється в електричній схемі одразу після фотодіода, використовується формула:

$$I = \Phi \cdot S, \quad (2.29)$$

де  $I$  пояснює струм, який йде у дану електричну схему,  $\Phi$  пояснює потік світла, який проходить на фотодіод,  $S$  це чутливість фотодіода (інтегральна).

$$I = 0,83 \cdot 0,7 = 0,58 \text{ мА.}$$

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

### 3.1. РОЗРОБКА ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

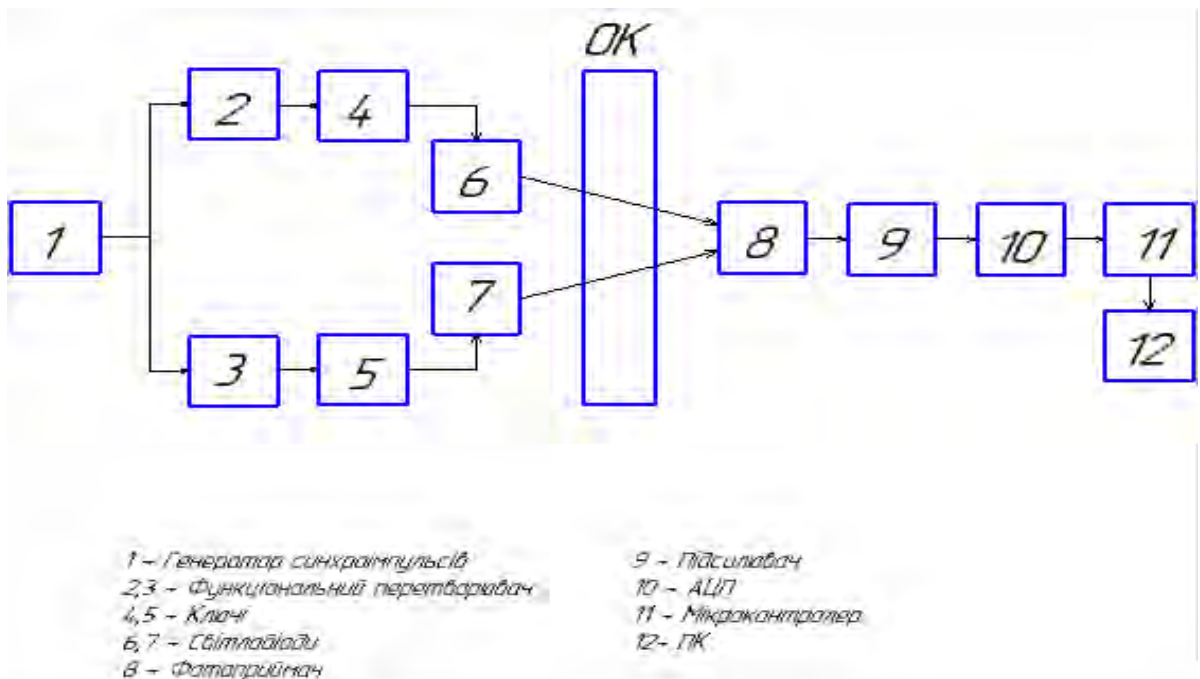


Рис. 3.1. Схема вологоміра структурна

Складається дана система з генератора номер 1, а також двох функціональних перетворювачів 2 і 3 та ключів під номером 4 і 5, завдяки яким генеруються протифазні імпульси діодів випромінювання номер 6 і 7.[16] Ці імпульси проходять через об'єкт контролю (ОК) і сприймаються фотоприймачем 8 за допомогою опорної та вимірювальної довжин хвиль (рис.3.2,а). Дані експоненціальні імпульси (промодульовані) від потоку на даній довжині хвиль поглинаються більше, а амплітуда таких імпульсів буде меншою, ніж від опорного випромінювання.

Від двох потоків послідовно підсилюються підсилювачем 9 і подаються до входу аналого-цифрового перетворювача 10. Даний оцифрований сигнал у подальшому йде до входу мікроконтролера номер 11, де власне і відбувається його обробка (рис. 3.2). А результати такої обробки виводяться на комп'ютер під номером 12.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

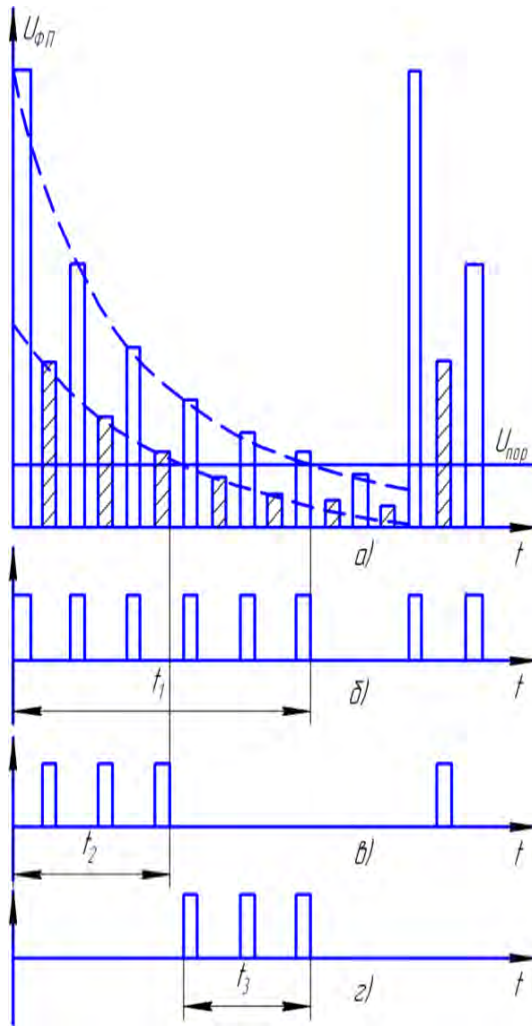


Рис. 3.2. Діаграма вологоміра часова: а – сигнал напрямлений до виходу фотоприймача; б, в – це розподілені сигнали у мікроконтролері; г –це різницевий часовий інтервал, який пропорційний вологості.

### 3.2.РОЗРОБКА ТА ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

На малюнку 3.3 показано даний генератор синхроімпульсів (G), який генерує прямокутні імпульси (рисунок 3.4, А). Ці імпульси послідовно надходять на один з двох перетворювачів (ФП<sub>1</sub> чи ФП<sub>2</sub>, рис.3.3). Кожен із таких перетворювачів модулює імпульси за законом експотенціальності (рис.3.4, В чи Т).

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						54
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Процес роботи системи передбачає одночасне подавання сигналів на два входи, але через закриті ключі спочатку випромінює перший діод у якого довжина хвилі  $\lambda=1,9$  мкм. Затим напрямом міняється, та інший діод з довжиною хвилі  $\lambda=1,7$  мкм. Випромінює світло. Блок керування керує за допомогою блоку «HE» у ключовій схемі (рисунок 3.4, D). Випромінювання проходить через тканину та отримується фотоприймачем.

Затим сигнал який отримали підсилюється та йде до входу полосового фільтру (рис. 3.3). За його допомогою виділяється необхідна нам частота. Після чого сигнал переходить до входу аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де він змінюється з аналогового у цифровий та залишається у пам'яті мікроконтролера.

Даною роботою системи керує блок керування (БК), показаний на рис. 3.3.

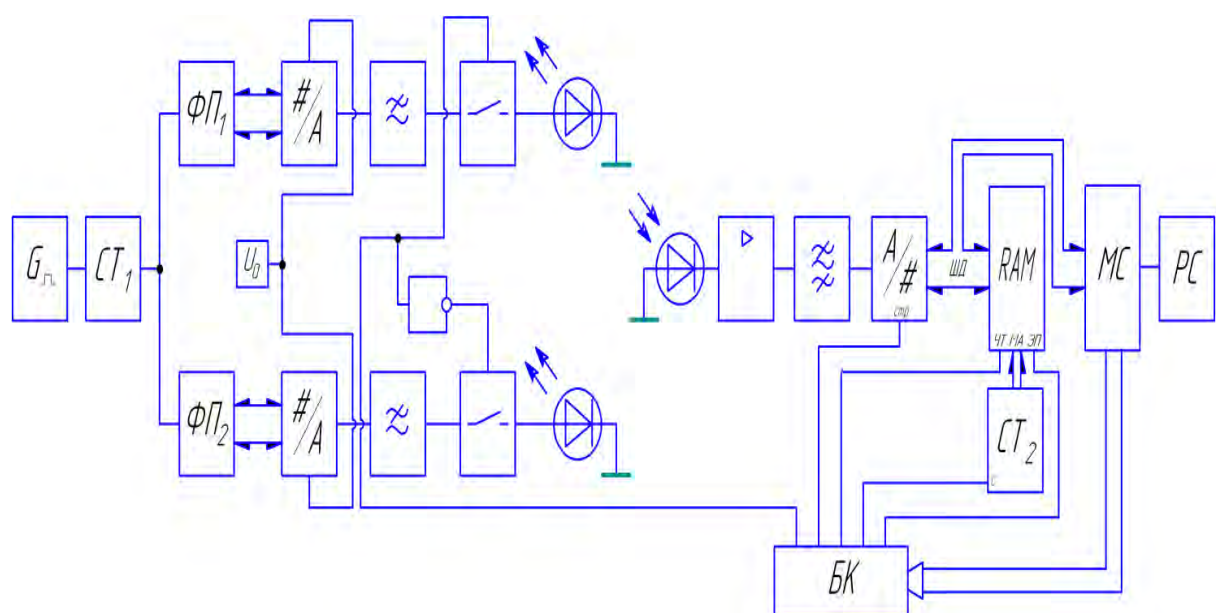


Рис. 3.3. Схема функціональна вологоміра

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

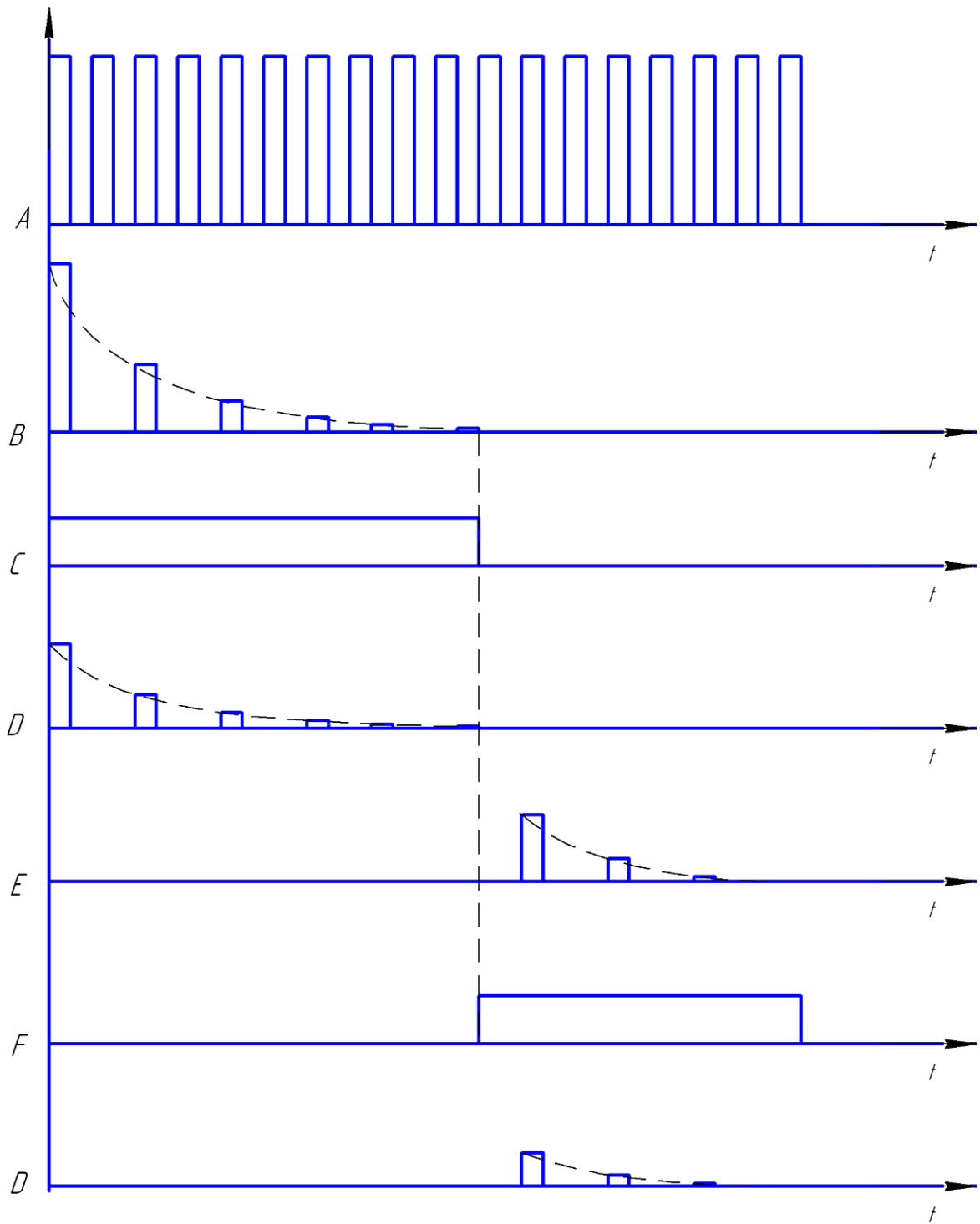


Рис. 3.4. Діаграма роботи схеми часова

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



## РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Для створення датчика вологості тканин використовується конструкція, яка включає дві основні компоненти: датчик випромінювання і датчик прийому. Ці компоненти знаходяться один над одним у просторі. Датчик випромінювання на (рис.4.1) складається із декількох елементів, включаючи корпус, блок світлодіодів, блок лінз і кришку з втулками. Корпус виконує захисну функцію і забезпечує міцність і стійкість датчика. Блок світлодіодів відповідає за генерацію світлового випромінювання, яке використовується для вимірювання вологості тканин. Блок лінз служить для фокусування і направлення світлового променя. Кришка з втулками забезпечує захист і фіксацію всіх компонентів датчика. Ця конструкція датчика дозволяє ефективно вимірювати вологості тканин і забезпечує зручне розташування.

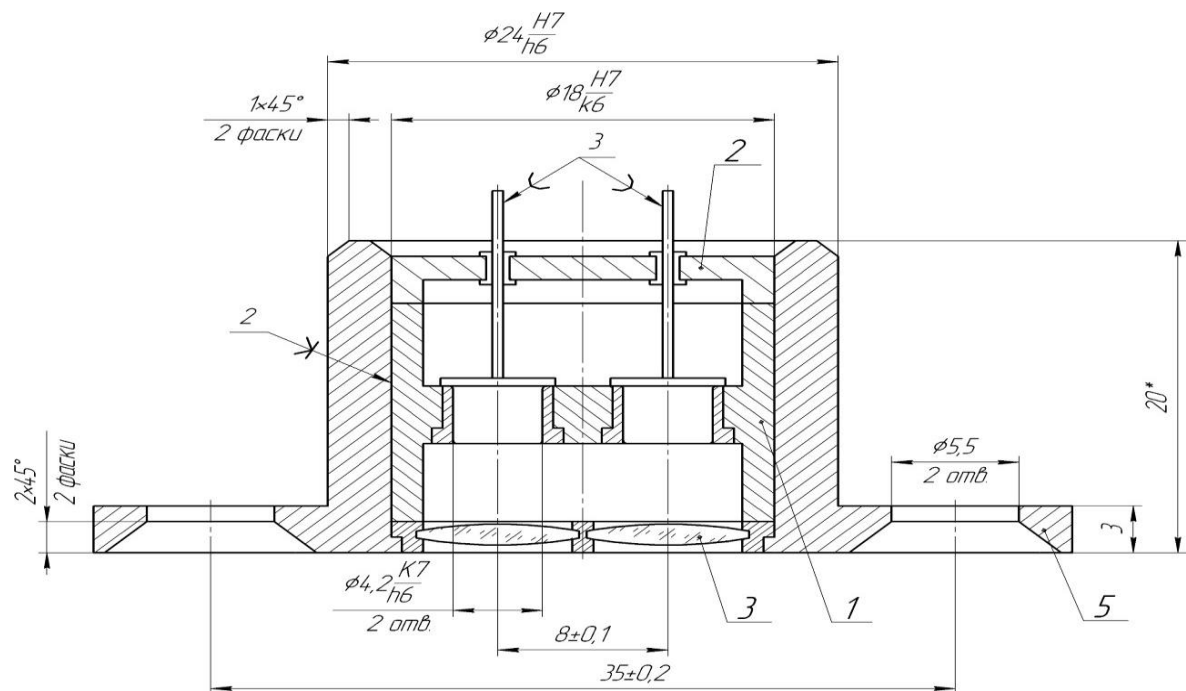


Рис. 4.1. Креслення датчику випромінювання

Процес збирання датчика складається з наступних кроків: вставляємо блок лінз 3 у корпус 5. Блок лінз складається з лінзотримача та самостійних лінз, які розміщуються у лінзотримачі; Насаджуємо блок лінз на виступ у корпусі і

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>		Арк.
							57
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			

приклеюємо його за допомогою епоксидного клею з можливістю холодного застигання УП-5-233. Це забезпечує надійне кріплення блоку лінз у корпусі; Приклеюємо блок діодів рівномірно над лінзами за допомогою того ж епоксидного клею; Закриваємо датчик кришкою 2, яка проходить через вставлені у кришку гумові втулки.

Датчик приймання (рис. 4.2) складається з кришки, корпусу, блоку фотодіода і лінзи.

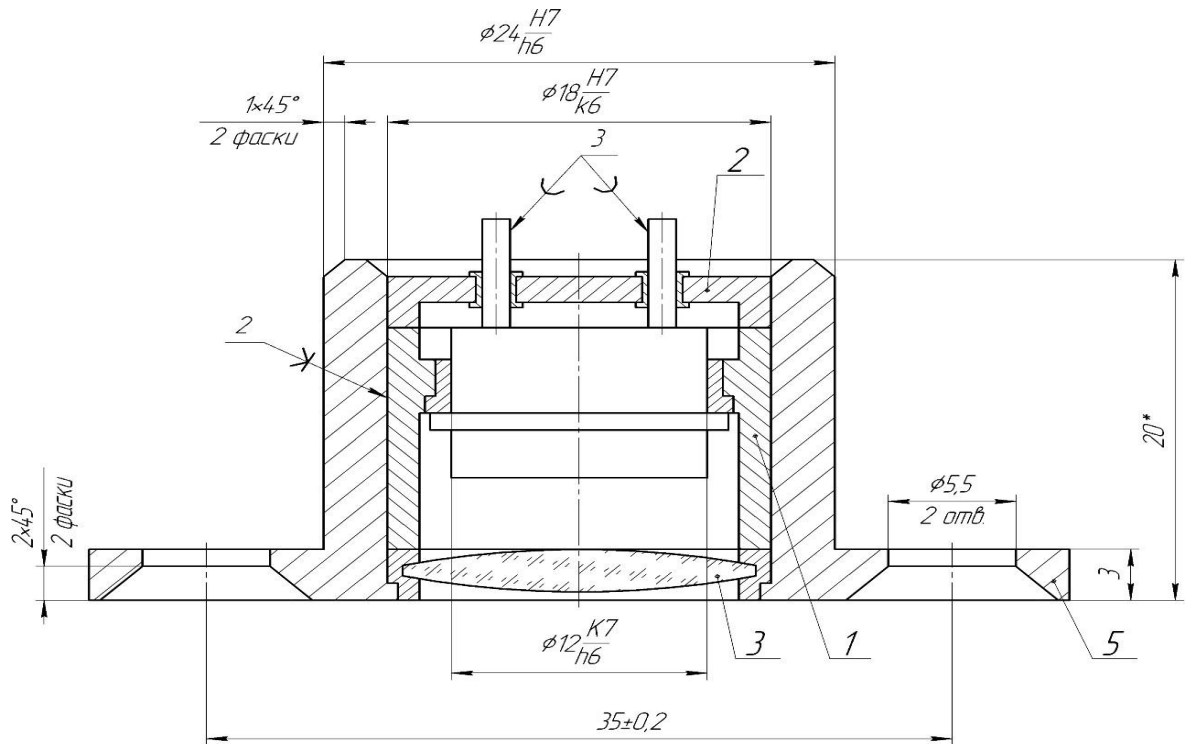


Рис. 4.2. Креслення датчику приймання

Порядок зборки датчику: у корпус 5 вставляється лінза 3, яка розташована у лінзотримачі. Лінза насаджується на даний виступ у корпусі і приклеюється клеєм УП-5-233; зверху у корпус вставляється блок фотодіода, який також приклеюється таким же клеєм. Блок фотодіода розташовується над лінзою; кришка 2 закривається і контакти фотодіода прокладаються крізь гумові втулки, які знаходяться у кришці. Контакти будуть паятися за допомогою припою ЕД-20 шлейфом; Корпус датчика та каретки виготовляються з алюмінієвого сплаву АК12, згідно з ГОСТ 1583-93; усередині каретки розташовується отвір, в який вставляється та закручується відповідний датчик. У верхню каретку встановлюється датчик випромінювання, а в нижню – датчик приймання.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>		Арк.
							58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Блок кареток (рис. 4.3) складається з корпусу 1 та двох втулок 2 і 3. Перша втулка є плоскою і здійснює рух по направляючій. Друга втулка має різьбу, в яку вкручується гвинт і за допомогою якого відбувається переміщення кареток. Ця конструкція забезпечує потрібну механічну стабільність і рухомість кареток.

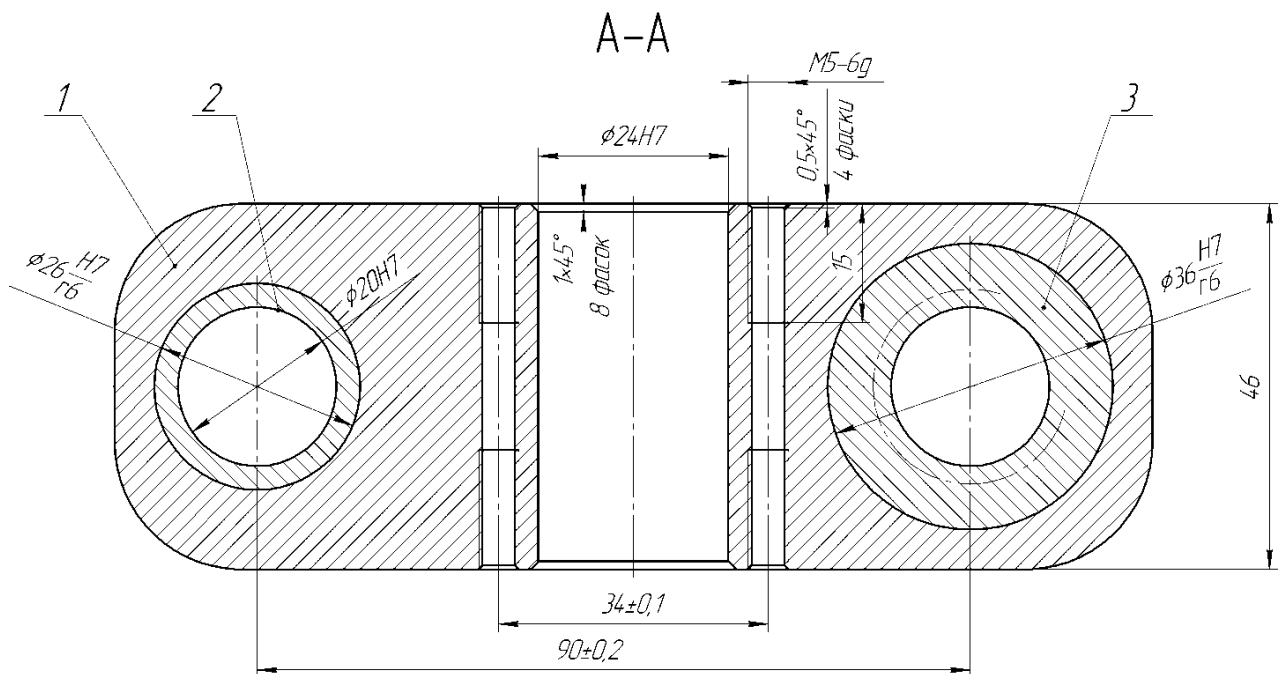


Рис. 4.3. Креслення каретки

Фактична продуктивність ткацького верстату визначається шляхом врахування фактичної робочої продуктивності та зупинок верстата. Формула для розрахунку фактичної продуктивності має вигляд:

$$P_T = \frac{nt}{P \cdot 100} [\text{ног.м}], \quad (4.1)$$

$n$  позначає кількість обертів за хвилину головного валу верстату;

$t$  це розрахункова година;  $P_y$  показник щільність тканини (число ниток на 1 см).

Фактична продуктивність верстату визначаємо:

$$P_\phi = P_T \cdot K_{ПВ} [\text{ног.м}], \quad (4.2)$$

де  $K_{ПВ}$  позначає коефіцієнт корисної години роботи станку.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

марка верстату	характеристика верстату		кількість обертів головного валу, об/хв
	м/год	мм/с	
АТ-100-5М	13,2	3,7	240
П-105	21,12	5,87	400
СТБ-330	27,5	7,6	200

## РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ

Дана секція встановлюється на виході готової тканини з ткацького верстату. Вона кріпиться на станину верстата гвинтами, що закручуються у отвори 1, відповідно на стінках секції. Тканина проходить між першою парою валиків та другою парою валиків. Після запуску ткацького верстата активується секція вимірювання вологості.

Включивши секцію на екрані монітора з'являється запит з пропозицією додати граничні значення вологості. Правильно ввівши граничні значення запускається двигун номер 4, який через шестерню приводить в рух гвинти 5. Гвинти рухаються за допомогою зубчастих коліс 6, які знаходяться на валу двигуна. Коліса приводять у зворотно-поступальний рух каретки випромінювання номер 7 та приймання 8. Каретки вимірюють вологість тканини, яка проходить між ними. Здійснюється контроль вологості за допомогою методу проходження світла через тканину. Метод базується на використанні опорного та вимірювального потоків випромінювання, які зсуваються в часі та мають експоненціальний характер. Після взаємодії з тканиною, випромінювання перетворюється в змінний фотоелектричний сигнал для опорного та вимірювального потоків. Далі сигнал порівнюється з пороговим рівнем. Порівняння дозволяє визначити змінний часовий інтервал, який відображає перехід від початку експоненти опорного сигналу до її перетину з пороговим рівнем, а також від початку експоненти вимірювального сигналу до її перетину з пороговим рівнем.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						60
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

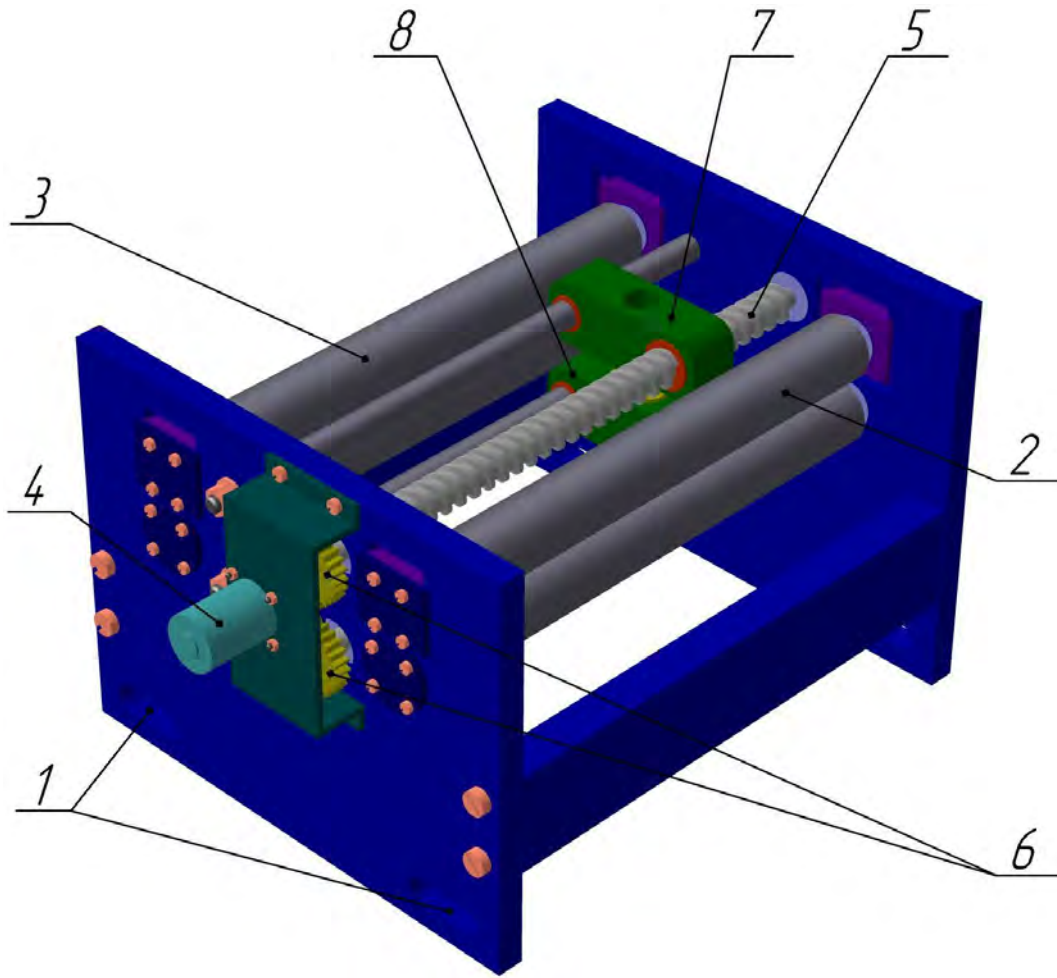


Рис. 5.1. Секція вимірювання вологості

Контроль вологості здійснюється автоматично за допомогою електронного блоку пристрою. Інформація про рівень вологості тканини постійно відображається на екрані монітора секції. В разі, якщо значення вологості покидає межі заданого діапазону граничних значень, електронний блок автоматично зупиняє двигун ткацького верстату та секції вимірювання, а також відтворює звуковий сигнал, щоб привернути увагу оператора.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						61
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ ПОХИБОК

Систематичні похибки вимірювання вологості залежать від різних зовнішніх факторів, таких як температура навколишнього середовища, напруга живлення і тривалість роботи. Вони впливають на сигнал як опорного, так і вимірювального каналу, а також на коефіцієнт пропускання, діапазон вимірювання і коефіцієнт зворотного зв'язку пристрою, який реалізує вимірювання. Для зменшення систематичних похибок можна застосовувати: термостатування або введення температурної корекції в вимірювальні ланцюги; забезпечення стабільності напруги у живленні; звуження діапазону вимірювання; стабілізація коефіцієнта зворотного зв'язку. Розглянемо основні джерела похибок в оптоелектронних вологомірах які мають функціональну розгортку:

-Неточність формування потоку випромінювання за експоненціальним законом.

-Неточність відтворення фотоприймачем експоненти.

-Вплив температурного режиму та часової нестабільності світлодіодів.

Взагалі (ФЕІВ) складається з задаючого генератора, ключа і  $R_C$ -ланцюга. Один із способів формування експоненційного імпульсу полягає в попередньому зарядженні ємності від задаючого генератора саме імпульсом обмеженої тривалості. При паралельному включенні ємності  $C$  та резистора  $R$  до їх заряду зможемо отримати відповідний експоненційний імпульс.

$$U_R = -Ee^{-t/\tau} \quad (6.1)$$

$E$  – це амплітуда імпульсу;  $\tau$  – це стала часу;  $t$  – це час.

Враховуючи, що діод працює за лінійною вольт-амперною характеристикою та характеристику потужності, при проходженні крізь діод струму, який міняється за експоненціальним законом, отримуємо результат:

$$i_{cd} = I_0 e^{-t/\tau}; \quad (6.2)$$

$$P_{изл} = kI_0 e^{-t/\tau}, \quad (6.3)$$

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $i_{cd}$  представляє струм світлодіоду;  $I_0$  це початкове (максимальне) значення струму;  $P_{изл}$  показує потужність випромінювання світлодіоду;  $k$  це даний коефіцієнт перетворення струму в інтенсивність випромінювання.

Оскільки початкові ділянки вольт-амперної характеристики та характеристики потужності світлодіоду є нелінійними, це спричиняє викривлення експоненти. За для усунення таких викривлень необхідно надати діоду початковий зсув, значення якого ми можемо дізнатись за вольт-амперною характеристикою світлодіоду:

$$I_{cm} = (U_{cm} - U_0)/R_{cm} \quad (6.4)$$

де  $U_{cm}$  це напруга зсуву;  $U_0$  це падіння напруги на світлодіоді;  $R_{cm}$  це опір зсуву.

В цьому випадку, при застосуванні зсувного струму на світлодіод, виникає додаткова потужність, яку слід враховувати при виборі максимально припустимого струму. Фотоприймач значно впливає на загальну похибку вологоміра. Нелінійність характеристик та інерційні властивості фотоприймача можуть спотворити форму експоненти. За для оцінки якості відтворення імпульсів різних довжин і форм краще всього підійде критерій форми. Ми можемо записати залежність між напругою та залежністю на виході фотоприймача у певному вигляді:

$$\tau_{\phi}(du/dt) + u(t) = S_0\Phi(t), \quad (6.5)$$

$\tau_{\phi}$  це стала часу фотоприймача. Під час опромінення середовища імпульсом випромінювання  $\Phi(t)$ , критерій якості його відтворення можна визначити за формулою:

$$F = (\int_0^{\infty} |U(t) - S_0\Phi(t)| dt) / (S_0 \int_0^{t_{имп}} \Phi(t) dt), \quad (6.6)$$

$U(t)$  представляє сигнал на виході фотоприймача, миттєва похибка, яка враховує часовий зсув вихідного сигналу і зв'язана з інерційними властивостями фотоприймача, обчислюється за допомогою певної формули:

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta^2 = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [u(t + t_c) - S_0 \Phi(t)] dt \right\} / \left( \frac{1}{T} \int_0^T S_0 \Phi^2(t) dt \right) \quad (6.7)$$

Шляхом розв'язання диференціального рівняння (6.5) можна визначити перехідну характеристику фотоприймача, що дозволяє отримати сигнал на його виході:  $S_{\text{пер}}(t) = S_0(1 - e^{-t/\tau\Phi})$  [21] (6.8)

Отже, імпульсна характеристика фотоприймача

$$S_{\text{імп}}(t) = u(t) = (S_0/\tau_\Phi) e^{-t/\tau\Phi} \quad (6.9)$$

Імпульсна характеристика дозволяє встановити, як змінюється сигнал на виході фотоприймача при впливі потоку, що може змінюватись довільно у часі:

$$u(t) = \int_0^t S_{\text{імп}}(t - \tau) \Phi(\tau) d\tau \quad (6.10)$$

або

$$u(t) = \int_0^T S_{\text{імп}}(t - \tau) \Phi(\tau) d\tau \quad (6.11)$$

Зміна потоку за законом

$$\Phi(t) = \Phi_0 e^{-t/\tau_{\text{екс}}} \quad (6.12)$$

де  $\tau_{\text{екс}}$  — стала часу експоненти, на виході фотоприймача вийде

$$u(t) = (\Phi_0 S_0 \alpha e^{-\alpha t} / \beta (1 - e^{-\beta t})), \quad (6.13)$$

де  $\alpha = 1/\tau_\Phi$ ;  $\beta = 1/\tau_{\text{екс}}$

Маючи інформацію про сигнал на виході вимірювального перетворювача, ми можемо здійснити оцінку якості його відтворення за допомогою певного критерію (6.6)

$$F = \frac{\int_0^\infty \left| \frac{\Phi_0 S_0 \alpha e^{-\alpha t}}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) - S_0 \Phi_0 e^{-\beta t} \right| dt}{S_0 \Phi_0 \int_0^t e^{-\beta t} dt} \quad (6.14)$$

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Після перетворень отримаємо:

(6.15)

$$F = \frac{1}{(1 + \tau_{\phi} / \tau_{\text{екс}})(1 - e^{-t / \tau_{\text{екс}}})}$$

Таким чином, можна зробити висновок, що якість відтворення залежить на пряму від співвідношення постійних часу фотоприймача та експоненціального імпульсу. З недоліків у світлодіодів – це тимчасова та температурна нестабільність, яка може бути визначена за допомогою коефіцієнта нестабільності потужності випромінювання в відсотках:

$$K_{\theta} = \Delta P \cdot 100 / P_{\text{max}} \Delta \theta, \quad (6.16)$$

$\Delta P$  позначає зміну інтенсивності випромінювання у заданому температурному діапазоні;  $P_{\text{max}}$  це максимальне значення інтенсивності випромінювання;  $\Delta \theta$  відповідає діапазону температур.

Для стабілізації потужності випромінювання світлодіодів можна використовувати кілька методів. Перш за все, можна застосовувати термостатування, яке полягає в підтримці постійної температури. Це досягається за допомогою термочутливих елементів, які контролюють і регулюють температуру світлодіодів. Крім того, стабілізацію можна досягти шляхом вибору оптимальних значень опорів у ланцюзі живлення світлодіода, що дозволяє компенсувати зміни потужності. Також використання зворотного зв'язку по термочутливому параметру та зсуву робочої ділянки може сприяти стабілізації потужності випромінювання. Іншим способом є стабілізація потужності випромінювання шляхом уведення оптичного каналу порівняння. Використання цих методів дозволяє забезпечити стабільність потужності випромінювання світлодіодів і уникнути впливу тимчасової та температурної нестабільності.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

На сучасному етапі технічного розвитку автоматизація управління технологічними процесами та контроль якості стають все важливішими. Особливо велике значення це має в текстильній промисловості, яка характеризується великим обсягом випуску продукції. Тому автоматизовані пристрої для контролю вологості в текстильній промисловості є необхідними.

У рамках даного дипломного проекту був розроблений оптичний пристрій для контролю вологості тканин в текстильній промисловості. Проведена класифікація оптичних вологомірів та виконаний глибокий патентний пошук. В основу розробки було взято найкращу схему, яка дозволяє встановити потрібну потужність випромінювання світлодіодів, збільшити їхнє співвідношення шум/сигнал та чутливість, і звісно спростити обробку сигналу, що в свою чергу знижує вартість апаратури. Розроблена система відповідає даним вимогам, викладеним у технічному завданні, а також відповідає сучасним вимогам вимірювальних систем.

У процесі роботи ми побачили спектральні характеристики вологих матеріалів, а також принципи побудови відомих ІЧ-вологомірів, що часто базуються на двоххвильовій схемі. Це означає, що вимірюваний сигнал фіксує різницю інтенсивності випромінювання двох хвиль: аналітичної та еталонної. Також були розглянуті принципи роботи оптоелектронних вологомірів.

Розроблено такі схеми пристрою як: структурну, функціональну, принципову та оптичну. В рамках проекту були також проведені розрахунки показників надійності пристрою, що виробляється.

					<b>ДР ПК-91.14.1760.000 ПЗ</b>	Арк.
						66
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Богачук В.В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів: монографія / В.В. Богачук, Б.І. Мокін. – Вінниця, 2008. – 141 с. [1]
2. Мухитдинов М. М. Оптоэлектронные устройства контроля и измерения в текстильной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 126 с. [2]
3. Контроль влажности текстильных материалов / А.Б. Брут-Бруляко, В.Г. Кравченко, М.Ю. Таратин // Научный вестник КГТУ. – 2009. – №2 (21). – С. 1-5.  
Осадчук В.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів: монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 152 с. [3]
4. «Габаритні розрахунки і конструювання оптичних вузлів і приладів» [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології» / О. К. Кучеренко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,15 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 194 с. [4]
5. Тимчик, Г. С. Технологія оптичного виробництва [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів ВНЗ / Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова, М. О. Маркін ; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Електронні текстові дані (1 файл: 2,97 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016. – 168 с. [5]
6. Йордан Г.М. Методи та обладнання для визначення вологості, що використовуються в засобах автоматизації процесів висушування / Г. М. Йордан // Квалілогія книги. - 2010. - № 2. - С. 67-76. [6]
7. Исмагулаев П.Р. Сверхвысокочастотная влагометрия и проблемы метрологического обеспечения./ П.Р. Исмагулаев, П.И. Каландаров // Приборы. – 2011. - №7. [7]

8.Осадчук В.С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод,підвищення його точності , В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін //Новітехнології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2010. – №1(27). – С. 135-139. [8]

9.Пат. 12664, МПК D06H 3/12. Пристрій для контролю вологості тканини/О.М. Баржник, Г.В. Рудакова, М.Б. Єдинович, Ю.С. Решетняк, М.А. Сагірова, М.С. Руденко, Л.В. [9]

10.Веселовський, О.В. Смаглюк; заявник та патентовласник Херсонський держ. тех. ун-т.–№ u200508370; заявл. 29.08.2005; опубл. 15.02.2006;Бюл. № 2. [10]

11.Автоматизація виробничих процесів : Підручник для студ. ВТНЗ / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова, В. М. Каліч, О. К. Дідик. – Кіровоград : Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с. [11]

12.Рудик А.В. Застосування амплітудно-фазового методу для вимірювання вологості речовин / А.В. Рудик, В.А. Рудик //Методита приладиконтролю якості. – 2013. – №2(31). – С. 29-35. [12]

13.Устройство для измерения влажности кожевенного сырья / Д. С. Лычников, М.В. Антонова, Н. В. Берлова, И.М. Гордиенко, Л.К. Земцова,С. А. Крылова, Н. П. Кутепова, Г. В. Луковенко, А. И. [13]

14.Сапожникова;заявитель и патентообладатель Московская гос. акад. вет. Медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина. – № 2006138176/22; заявл.12.02.2006;опубл. 30.10.2006 [14]

15.Sheetal V. Kamble, Uday A. PatilCAN based System for Monitoring and Controlling Humidity and Temperature in Textile Industry, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov – Dec. 2015), PP 98-102. [15]

16.R.Wernecke, J.Wernecke, Industrial Moistureand Humidity Measurement: A Practical Guide, Publisher: Wiley VCH, 2014, 520 p. – ISBN: 3527331778. [16]

17.Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /

Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 264 с. [17]

18. Optical humidity sensors for textiles: A review Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 146, Issue 2, 2010 [18]

19. R. Wernecke, J. Wernecke, Industrial Moisture and Humidity Measurement: A Practical Guide, Publisher: Wiley VCH, 2014, 520 p. – ISBN: 3527331778. [19]

20. Петрик, В.Ф. Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів / Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серый К.Н., Повшенко А.А. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. - Том 30 (69), Ч. 2, № 6. - С.12-16. [20]

21. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с. [21]

22. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.