

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного  
менеджменту

Брудньовський Олександр Ігорович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.179

(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Розроблення приладу для контролю якості нафтопродуктів

(назва роботи)

---

(назва освітньої програми)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

---

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне  
джерело:**

Здобувач освітнього ступеня О.І. Брудньовський Олександр Ігорович

(підпис, ініціал та прізвище здобувача)

Науковий керівник \_\_ Боднар Р.Т., канд. техн. наук, доцент

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**  
Завідувачка кафедри ІВТЕМ

**Доц. \_\_\_\_\_ Цих В. С.**  
(посада) (підпис) (дата) (ініціал та прізвище)

м. Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій  
Освітній рівень перший бакалаврський  
Спеціальність 152-Метрологія

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ІВТЕМ

\_\_\_\_\_ В.С. Цих  
«    » 06.    2025 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Брудньовський Олександр Ігорович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1.Тема роботи: Розроблення приладу для контролю якості нафтопродуктів \_\_  
Керівник роботи\_ Боднар Роман Тарасович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «30»04. 2025 року  
№ 270/7

2. Строк подання студентом закінченого проекту (роботи) 16.06.2025 р.

3.Вихідні дані до проекту (роботи): діапазон величини концентрацій розчинів  
від 2% до 100%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити): \_аналіз методів визначення; теоретичне обґрунтування вибраного  
методу; розроблення структурної схеми приладу; розроблення конструкції  
приладу; метрологічний аналіз; розроблення заходів охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
креслень):\_теоретичні основи методу (А1); схема функціональна (А1);  
конструкція приладу (А1); \_конструкція вузла оптичного (А1);)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М.		

7. Дата видачі завдання 30.04.2025 р.   

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строки виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Аналіз методів визначення	30.04.25 – 15.05.25	
	Теоретичне обґрунтування методу	15.05.25 – 25.05.25	
	Розроблення структурної схеми приладу	25.05.25 – 06.06.25	
	Розроблення конструкції приладу	07.06.25 – 08.06.25	
	Метрологічний аналіз	09.06.25 – 11.06.25	
	Розроблення заходів охорони праці	12.06.25 – 16.06.25	

Здобувач освітнього ступеня

Брудньовський О.І.   

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Боднар Р.Т. \_\_\_\_\_

(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 89 сторінок, 11 рисунків, 8 таблиць, 2 додатки,  
16 джерел літератури, 6 аркушів креслення.

Об'єкт дослідження – нафтопродукти.

Мета роботи – розробка приладу для контролю якості нафтопродуктів.

У бакалаврській роботі проведено аналіз основних методів контролю якості нафтопродуктів. Теоретично обґрунтовано можливість контролю якості нафтопродуктів оптичним методом. Розроблено структурну та електричну принципову схеми, конструкцію приладу для контролю якості нафтопродуктів. Розроблено методику проведення контролю та здійснено метрологічний аналіз приладу.

Розроблено заходи безпеки для обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища.

НАФТОПРОДУКТ, СПЕКТР ПОГЛИНАННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ,  
ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, СВІТЛОФІЛЬТР.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis: 89 pages, 11 figures, 8 tables, 2 appendices,

16 sources of literature, 6 sheets of drawings.

The object of research is petroleum products.

The purpose of the work is to develop a device for controlling the quality of petroleum products.

The bachelor's thesis analyzes the main methods of quality control of petroleum products. The possibility of controlling the quality of petroleum products by optical methods is theoretically substantiated. The structural and electrical schematic diagrams and the design of the device for controlling the quality of petroleum products are developed. The control methodology is developed and the metrological analysis of the device is carried out.

Safety measures for service personnel and the environment are developed.

OIL PRODUCT, ABSORPTION SPECTRUM, QUALITY CONTROL, INFRARED RADIATION, LIGHT FILTER.

## ЗМІСТ

Вступ.....	
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ПРИЛАДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ.....	
1.1. Методи визначення октанового числа пального.....	
1.2. Метод визначення фракційного складу пального.....	
1.3. Методи визначення вмісту води у пальному.....	
1.3.1. Хімічні методи визначення вмісту води у пальному.....	
1.3.2. Фізичні методи визначення вмісту води у пальному.....	
1.4. Методи визначення вмісту сірки у пальному.....	
1.4.1. Випробування пального на мідній пластинці.....	
1.4.2. Автоматичний аналізатор сірки.....	
1.5. Хроматографічний метод аналізу пального.....	
1.6. Аналіз методів контролю якості нафтопродуктів і постановка задачі на дипломне проектування.....	
2. РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ.....	
2.1. Теоретичне обґрунтування оптичного методу контролю якості нафтопродуктів.....	
2.1.1. Дисперсія світла.....	
2.1.2. Абсорбція світла.....	
2.1.3. Визначення складу пального оптичним методом.....	
2.2. Розробка функціональної схеми приладу для контролю якості нафтопродуктів.....	
2.3. Розробка електричної принципової схеми приладу для контролю якості нафтопродуктів.....	
2.4. Розробка конструкції приладу для контролю якості нафтопродуктів...	
2.4.1. Розрахунок вузла охолодження.....	

2.4.2. Розрахунок інтерференційно-поляризованого фільтру.....	
2.5. Розробка методики проведення контролю якості нафтопродуктів.....	
3. МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ.....	67
3.1. Загальний аналіз видів похибок.....	
3.2. Аналіз похибок приладу для контролю якості нафтопродуктів.....	
3.3. Розрахунок сумарної похибки приладу для контролю якості нафтопродуктів.....	
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
4.1. Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища.....	
4.2. Забезпечення нормальних умов праці.....	
4.3. Розрахунок природної освітленості лабораторії.....	
4.4. Пожежна безпека .....	
Висновки.....	
Перелік посилань на джерела.....	
Додаток А.....	
Додаток Б.....	

## ВСТУП

При виробництві нафтопродуктів важливу роль відіграє їх якість. В умовах науково-технічного прогресу вимоги до бензинів зростають, з'являються нові марки бензинів. Якість бензину цікавить як споживача так і виробника.

Сучасні автомобільні бензини, як правило, є сумішами компонентів, що отримуються різними технологічними процесами.

Особливе значення при приготуванні якісних бензинів має знання показників якості що характеризують експлуатаційні властивості товарних бензинів (октанові числа (ОЧ)) по моторному і дослідницькому методах (MON, RON), густина, фракційний склад, вміст сірки, вміст ароматичних

Скорочення перевищення ОЧ над нормованим, скорочення вмісту дорогих добавок, раціональне використання компонентів товарних бензинів, при приготуванні бензину на виробництві дає економію в десятки мільйонів доларів в рік.

Під час компаундування потрібно контролювати співвідношення компонентів змішування, їх якісні характеристики, концентрації, а також отримуваний в результаті змішування товарний бензин. Чим швидше буде отриманий результат, що характеризує властивість отриманого в результаті змішування бензину, тим швидше може бути внесена поправка в приготування бензину.

Одним з методів швидкого отримання результату, що характеризує властивість бензину, є використання аналізатора якості, що працює в ІЧ-області

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ПРИЛАДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

## 1.1 Методи визначення октанового числа пального

Вивчення багатьох синтетичних вуглеводнів показало, що в ряді алканів октанове число зменшується з подовженням ланцюгу і збільшується з її розгалуженням. Алкени мають вищі показники, ніж відповідні алкани, причому їх октанові числа збільшуються із зміщенням подвійного зв'язку до центру молекули. Циклопарафіни менш схильні до детонації, ніж нормальні парафіни, а ароматичні вуглеводні відрізняються особливо високими октановими числами.

Бензини прямої гонки складаються головним чином з алканів, і тому їх октанові числа коливаються у межах від 80 до 28. Однак завдяки технологічним вдосконаленням вдалося настільки збільшити октанові числа рідкого палива, що на зміну моторам із ступенем стиснення близько 4 прийшли сучасні високоефективні двигуни, що працюють при ступені стиснення 9 - 10 і вище. Октанове число, крім конструктивних особливостей двигуна залежить від хімічного складу, процесів вторинної і первинної перегонки нафти, та від вмісту в бензинах проти детонатора. Найвищі октанові числа мають ароматичні вуглеводні, а також бензинові фракції отримані внаслідок процесів термічного та каталітичного крекінгу.

Здатність палива протистояти детонації називається детонаційною стійкістю. Детонаційна стійкість палива оцінюється октановим числом.

*Октанове число (ОЧ)* - умовний показник, що характеризує здатність палива забезпечити бездетонаційну роботу двигунів із примусовим запаленням.

Октанове число автомобільних бензинів визначають двома методами: моторним і дослідницьким. Обидва методи стандартизовані. Для визначення

октанового числа використовують моторні установки із одноциліндровими двигунами з перемінним ступеням стиснення ( $\epsilon = 4 \dots 10$ ).

Визначення октанового числа за моторним методом ведеться при обертах вала двигуна  $900 \text{ хв}^{-1}$  з підігрівом робочої суміші до  $149 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , та при перемінному куті випередження запалювання; визначення октанового числа за дослідницьким методом ведеться при обертах вала двигуна  $600 \text{ хв}^{-1}$ , температурі повітря  $52 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  і постійному куті випередження запалювання – 13 град. В іншому, методики визначення октанового числа за обома методами однакові. У цілому, умови випробування за дослідницьким методом легше ніж за моторним, тому октанове число бензину визначене по дослідницькому методу вище, ніж за моторним на  $7 \dots 10$  одиниць.

*Моторний метод* визначення октанового числа характеризує детонаційну стійкість бензину у режимі роботи двигуна завантаженого автомобіля, при його русі по маршрутах за містом (висока форсованість та найбільша теплонапруженість двигуна).

*Дослідницький метод* визначення октанового числа характеризує детонаційну стійкість бензину у режимі роботи двигуна легкового автомобіля при його русі в умовах міста (обмежені потужності, чисельні зупинки, низька теплонапруженість двигуна) [1].

При визначенні октанового числа двигун працює на випробуваному паливі. Під час роботи поступово підвищується ступінь стиснення, доки не виникне детонація, інтенсивність якої фіксується.

Потім закріплюється ця ступінь стиснення та підбирається еталонне паливо, при роботі на якому виникає детонація тієї же сили, що і у випробуваному паливі.

Таким чином, октанове число - це умовна одиниця визначення детонаційної стійкості палива, яка показує відсоток вмісту по об'єму ізооктану у штучно приготовленій суміші, що складається із ізооктану (детонаційна стійкість дорівнює 100) та н-гептану (детонаційна стійкість дорівнює 0), що за

своєю детонаційною стійкістю еквівалентна випробуваному паливу. Якщо, наприклад, еталона суміш містить 76% ізооктану і 24% н-гептану, та за своєю детонаційною стійкістю дорівнює випробуваному бензину, тоді октанове число палива дорівнює 76.

Відомі альтернативні методи оцінки октанового числа (ОЧ), наприклад, по діелектричній проникності бензину, а також по показникам фракційної розгонки (температур кипіння 10% та 90% фракцій) і густини.

## 1.2 Метод визначення фракційного складу пального

Визначення фракційного складу проводиться для оцінки випаровуваності та для встановлення сорту пального.

Оцінка випаровуваності пального за фракційним складом заснована на залежності випаровування вуглеводнів від температури їх кипіння. За температурою википання окремих фракцій пального можна наближено судити про його дійсне випаровування в двигуні. Наприклад, при оцінці випаровуваності бензинів за температурою початку кипіння судять про присутність у пальному легких фракцій, і ця температура разом з величиною тиску насичених парів дозволяє визначити схильність бензину до утворення парових пробок в системі живлення двигуна.

За температурою википання 10 % бензину можна зробити висновок про його здатність забезпечити запуск двигуна. Чим нижча ця температура, тим при більш низькій температурі довколишнього повітря можна отримати горючу робочу суміш і забезпечити запуск двигуна.

За температурою википання 50 % бензину можна зробити висновок про середню його випаровуваність і здатність забезпечити швидкий перехід двигуна з одного режиму на інший. Чим нижча температура википання 50 % бензину, тим швидше прогрівається і більш стійко працює двигун.

За температурою википання 90 % бензину роблять висновок про загальну випаровуваність бензину і повноту його випаровування при роботі прогрітого двигуна.

За температурою кінця кипіння (97,5% та 98%) можна зробити висновок про наявність найбільш важких фракцій, що входять до складу бензину. Чим вища ця температура, тим більша небезпека неповного згорання палива внаслідок того, що важкі фракції не встигають випаровуватись і утворювати з повітрям горючу суміш. Частина пального, що не випарувалась, буде стікати в картер двигуна і розріджувати мастило.

Визначення фракційного складу проводиться за допомогою стандартного приладу.

### 1.3. Методи визначення вмісту води у пальному

Методи визначення вмісту води в нафтопродуктах можна розділити на хімічні і фізичні. Хімічні методи засновані на взаємодії води з хімічними реагентами. Ефект такої взаємодії оцінюють різними способами: по виділенню газу, теплоти, зміні забарвлення продуктів реакції та ін. Фізичні методи засновані на прямому визначенні вмісту води без зміни її молекулярного стану. Для цієї мети застосовують інструментальні методи аналізу — оптичні, хроматографічні, електричні, дистиляційні та ін.

#### 1.3.1. Хімічні методи визначення вмісту води у пальному

Хімічні методи поділяються на якісні і кількісні [2].

*Якісні* застосовують для встановлення факту присутності води в нафтопродуктах. Ці методи засновані на зміні кольору хімічних речовин у присутності води або зміні  $pH_{cp}$  водного розчину, внаслідок чого забарвлюється індикатор. Як хімічні речовини для цієї мети застосовують різні комплексні солі або їх суміші, наприклад сірчаноокислу сіль тривалентного заліза, жовту і червону кров'яні солі, сульфат заліза та ін. Відоме вживання індикаторного

паперу, просоченого розчином бромиду кобальту II, різних паст, які наносять на метршток для визначення рівня підтоварної води.

*Кількісні* методи визначення вмісту води в нафтопродуктах включають волюмо-, титро- і калориметричні.

*Волюмометричні методи* засновані на вимірі об'єму газу, що виділяється при взаємодії води в нафтопродуктах з хімічними реагентами, наприклад простими і комплексними гідридами, карбідами, нітридами металів, амідами та ін. Ці реагенти при взаємодії з водою утворюють відповідно водень, ацетилен, аміак. Найкращими реагентами є гідриди, серед яких найбільш поширений гідрид кальцію. Вміст води (%) визначають по формулі:

$$G_B = 100kV_0/G_H, \quad (1.1)$$

де,  $k$  — кількість води, відповідна 1 м<sup>3</sup> газу, що виділився, кг;

$V_0$  — об'єм газу, що виділився, приведений до нормальних умов, м<sup>3</sup>;

$G_H$  — проба нафтопродукту, кг.

*Титрометричні методи* засновані на прямому визначенні води при титруванні розчинами хімічних реагентів. Ці методи в порівнянні з волюмометричними мають велику точність, тому їх застосовують для визначення малих кількостей води в нафтопродуктах. Найчастіше для цієї мети використовують реактив Фішера, що є розчином йоду, піридину і сірчистого ангідриду в метанолі.

Реакції протікають швидше при надлишку йоду і сірчистого ангідриду. Реактив Фішера токсичний, нестабільний при зберіганні. Окрім реактиву Фішера для титрування води застосовують гідразид натрію, гідрид барію, перхлорат нітронію, йод з неграничними ефірами.

*Калориметричні методи* засновані на екзотермічній взаємодії хімічних реагентів з водою, що в нафтопродуктах. По кількості теплоти, що виділилася визначають кількість води в паливах.

Необхідною умовою калориметричних методів визначення води в нафтопродуктах є здатність реагенту вступати в реакцію з водою з виділенням достатньої кількості теплоти, а також його хімічна інертність по відношенню до вуглеводневих палив і . Із зменшенням вмісту води необхідно використовувати реагенти з великим тепловим ефектом. Досить великі ефекти мають прості і комплексні гідриди, п'ятиокис фосфору, сірчана кислота та ін. В якості реагенту найбільш підходить гідрид кальцію, оскільки він в порівнянні з іншими доступними реагентами при взаємодії з водою має найбільший енергетичний ефект.

Кількість теплоти, що виділилася, можна визначити звичайними термометрами, термопарами, термометрами опору, термометричними пірометрами та роблячи підрахунок.

### 1.3.2. Фізичні методи визначення вмісту води у пальному

Фізичні методи, так само як і хімічні, поділяються на якісні та кількісні.

*Кількісні* методи засновані на різних ефектах поведінки води в нафтопродуктах при дії зовнішніх чинників. У термічному методі при нагріванні нафтопродукту до 130—150 °С присутність води визначають по характерному потріскуванню.

Для якісного визначення води використовують властивості деяких матеріалів змінювати геометричні розміри, люмінесціювати в ультрафіолеті при наявності води та ін.

Серед кількісних методів визначення води найбільш поширені граві- і дількометричні. Вміст води можна визначити також по магнітній проникності,

діелектричній напруженості, тангенсу кута діелектричних втрат, методами ІЧ-, КР-спектроскопії, нефелометрії, фотоколориметрії, хроматографії та ін. Найбільш поширений метод, оснований на вимірі діелектричної проникності.

#### *Диелькометричні методи*

Прилади для діелектричної проникності рідких речовин в даний час широко відомі і мають різні конструкції. Серед багатьох методів вимірювання діелектричної проникності найбільш поширений мостовий метод. Суть його полягає у вимірі розбалансу моста, що є функцією ємності датчика. Із зменшенням вимірюваної ємності частота живлячого генератора має бути збільшена. Напругу генератора балансують відносно землі. Високу точність можна отримати, якщо вимірювану ємність підключити паралельно конденсатору, зрівноважити міст з його допомогою, від'єднати вимірювану ємність і знову зрівноважити міст. Різниця показів конденсатора дає шукану ємність

Діелектрична проникність досліджуваного нафтопродукту:

$$\varepsilon = (C_1 - C_2) / C_0, \quad (1.2)$$

де  $C_1$  — ємність заповненого продуктом датчика;  $C_2$  — паразитна ємність;  $C_0$  — ємність порожнього датчика.

Простота визначення, малі габаритні розміри вимірювального пристрою дозволяють використовувати мостовий метод для швидкого визначення вмісту води в будь-яких нафтопродуктах.

#### *Оптичні методи*

Оптичні методи можна успішно застосувати для визначення вмісту води. Поглинання групи ОН води спостерігається в області, близькій ІЧ - області спектру ( $3760\text{—}3600\text{ см}^{-1}$ ), а також при  $1630\text{—}1600\text{ см}^{-1}$ . Положення смуг поглинання води зміщується у бік менших частот при утворенні водневих зв'язків з гетероорганічними з'єднаннями. Таким чином, характеристичне

поглинання груп ОН води в її сумішах з вуглеводнями і реальними нафтопродуктами буде різним. Необхідно враховувати також поглинання груп ОН, що належать продуктам окислення вуглеводнів. У КР-спектрах характеристичне поглинання води лежить близько  $3654\text{—}3600\text{ см}^{-1}$  і характеризується сильною інтенсивністю. Кількість води по коливальних спектрах поглинання визначають за допомогою калібрувальних кривих або таблицях, що виражають залежність інтенсивності поглинання від концентрації води.

Серед оптичних методів визначення вмісту води достатньо широко застосовуються методи нефелометрії, засновані на порівнянні прозорості еталонної і досліджуваної рідини. Паливо минає диспергатор, регулювальник тиску, потім розділяється на два потоки, що минають робочу і порівняльну камери. Перед еталонною камерою паливо нагрівається до температури, при якій вода повністю розчиняється. Фотоелементи включені по мостовій схемі і працюють від спільного джерела світла. Кількість води визначають по «каламутності» палива в робочій камері.

Оптичні методи можуть бути використані також для визначення вмісту води по її взаємодії з хімічними реагентами з ефектами фарбування.

#### 1.4. Методи визначення вмісту сірки у пальному

Для бензину, що відповідає нормам “Євро-1”, вміст сірки має становити не більше 0,1%, “Євро 2” – не більш 0,02%, “Євро-3” і “Євро-4” – не більш 0,003%.

За нашим ДСТУ кількість сірки в бензині не має перевищувати 0,05%. Тобто ми не укладаємося у норми “Євро-2”.

##### 1.4.1. Випробування пального на мідній пластинці

Дослідження пального на мідній пластинці дає можливість встановити (якісно) наявність в пальному вільної сірки і активних сірчистих сполук (сірководень, меркаптани та ін.).

Вміст вільної сірки і активних сірчистих сполук в пальному не допускається тому, що вони викликають інтенсивну корозію резервуарів і деталей двигуна. Про наявність в пальному сірки і активних сірчистих сполук судять по зміні кольору мідної пластинки, що занурена в досліджуване пальне.

Випробування пального на мідній пластинці відбувається наступним чином.

Досліджуване пальне заливають в пробірку до висоти близько 60 мм і опускають в нього щипцями зачищену мідну пластинку. Перед дослідом вона зачищається шліфувальною шкіркою до чистоти поверхні  $\nabla 8$ , промивається спиртом або ефіром і просушується на фільтрувальному папері. Пробірка з пластинкою, зануреною в досліджуване пальне, поміщається на водяну баню, де утримується при температурі  $50 \pm 2$  °C на протязі 3 годин.

Рівень води в бані повинен бути вище рівня пального в пробірці. По закінченні трьох годин пластинку витягують з пробірки, відмивають її поверхню від відкладених смол ацетоном або спиртово-бензольною сумішшю (в співвідношенні 1:1) і порівнюють з кольором пластинки, що не підлягала дослідю. Для кожного досліджуваного зразка пального проводиться не менше двох випробувань. Якщо хоча б при одному випробуванні пластинка покрилась темно-коричневими або сіро-сталевими плямами, то вважається що пальне не витримало випробування. При всіх інших змінах кольору або відсутності змін кольору пластинки вважається, що продукт витримав випробування.

#### 1.4.2. Автоматичний аналізатор сірки

Існують такі хімічні методи визначення вмісту сірки: спалювання проби в лампі, спалювання проби у бомбі, прискорений метод. Всі вони не

забезпечують оперативного контролю, оскільки тривалість аналізу цими методами коливається від однієї до десяти і більше годин.

Із автоматичних методів визначення вмісту сірки найбільш перспективним є радіометричний, в якому використовується м'яке  $\gamma$ -випромінювання радіоактивних ізотопів ( $\text{Fe}^{55}$ ).

Ослаблення вузьких пучків  $\gamma$  - випромінювання при проходженні через аналізовану речовину описується експоненціальним законом [3]:

$$I = I_0 e^{-\mu_M \rho l}, \quad (1.3)$$

де  $\mu_M$  - масовий коефіцієнт послаблення;

$\rho$  - щільність шару речовини, що поглинається;

$l$  - товщина шару поглинаючої речовини.

Ослаблення  $\gamma$ -випромінювання визначається в основному наступними ефектами:

*Фотоефект.* Процес фотоелектричного поглинання гамма-кванта електронної оболонки супроводжується вириванням електрона на оболонки. Ослаблення

$\gamma$ -випромінювання за рахунок фотоефекту відіграє тим більшу роль, чим менша енергія випромінювання і чим більший атомний номер поглинаючого середовища.

*Комптон-ефект* полягає у взаємодії гамма-кванта з електроном. В результаті такої взаємодії гамма-квант відхиляється від початкового напрямку і втрачає частину енергії, яка передається електрону. Прискорений електрон виривається з електронної оболонки атома і летить під деяким кутом до напрямку польоту гамма-кванта. При енергіях гамма-квантів близько 0,5 - 1,5 МеВ ослаблення випромінювання за рахунок комптон-ефекту відіграє головну роль.

Гамма-випромінювання порівняно слабо поглинається речовиною. Найбільш сильна залежність масового коефіцієнта ослаблення випромінювання

$\mu_m$  від складу спостерігається тоді, коли переважаючим процесом взаємодії є фотоефект. Для контролю хімічного складу речовин використовують м'яке  $\gamma$ -випромінювання з енергією не більше 0,3 МеВ.

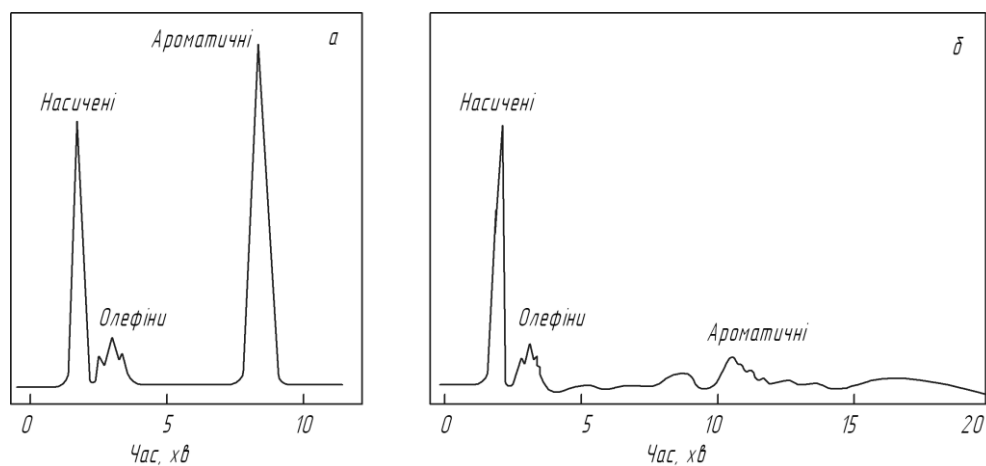
Дане дослідження проводиться за допомогою аналізатора АЖС-1. Аналізатор АЖС-1 складається з датчика, електронного блоку і реєстратора. В якості детектора у ньому використане випромінювання сцинтиляційного лічильника, який складається з сцинтилятора і фотоелектронного помножувача. Сцинтилятор володіє властивістю давати світловий спалах при поглинанні попавшої у нього частини  $\gamma$  - кванту. Нестабільність коефіцієнта посилення фотоелектронного помножувача і всього підсилювального каскаду компенсується використанням у приладі компенсаційної схеми виміру. Основна похибка даного приладу не перевищує 0,1 %.

#### 1.5. Хроматографічний метод аналізу пального

Досить точним методом визначення групового вуглеводневого складу бензинів, є метод заснований на високоефективній рідинній хроматографії (ВЕРХ). Перевагою даного методу є те, що зразки можна аналізувати без попередньої підготовки, можна здійснювати аналіз в потоці і, крім того, діолефіни визначаються у складі олефінів, а не у складі ароматичних вуглеводнів, як по методу ФІА (флюорисцентно-індикаторна адсорбція). За допомогою цього методу, використовуючи звичайний рідинний хроматограф високого тиску і високоефективну колонку, протягом 10 хвилин можна отримати хроматограму, що складається з трьох піків: насичені, олефінові і ароматичні вуглеводні. Для цього 3 мкл зразка розділяють на скляній колонці (30см  $\times$  4 мм), заповненій активованим  $\mu$ -порасилом з розміром частинок 10 мкм. Як детектор використовують диференціальний рефрактометр. Використання в якості рухомої фази з'єднання, що містить фтор Fluorinert FC-78, та має надзвичайно низьку елююючу силу ( $\epsilon^\circ = -0,25$ ) в порівнянні з *n*-пентаном ( $\epsilon^\circ = 0,00$ ), і високоефективної колонки забезпечує відділення

насичених вуглеводнів від ненасичених. Низький показник заломлення рухомої фази (близько 1,25) забезпечує високу чутливість детектора і дозволяє працювати з малим розміром проби. Ароматичні вуглеводні елюються при зміні напрямку потоку елюента на зворотній. Це забезпечує елювання всіх ароматичних вуглеводнів у вигляді одного вузького піку, як показано на рисунку 1.1.

Кількість ароматичних вуглеводнів розраховують безпосередньо із використанням калібрувального коефіцієнта, отриманого при калібруванні детектора по ароматичній фракції, виділеної із бензину.



- а) – тяжкий бензиновий дистилат із змінами напрямку потоку;
- б) - тяжкий бензиновий дистилат без змін напрямку потоку.

Рисунок 1.1 – Хроматограми бензинових дистилатів

Такий розрахунок не приводить до великих помилок унаслідок того, що показник заломлення моноциклічних ароматичних вуглеводнів, що википають в межах температури кипіння, а отже, і коефіцієнт чутливості детектора відносно постійний (у межах  $\pm 2\%$ ). Оскільки показник заломлення сильно змінюється залежно від структури і молекулярної маси насичених і олефінових

вуглеводнів, пряме вимірювання вмісту цих груп за площею піків неможливий. Проте було знайдено, що відношення різниці показників заломлення олефінів і розчинника до різниці показників заломлення насичених вуглеводнів і розчинника для різних бензинів постійне і рівне 1,10. Це дає можливість розраховувати вміст насичених і ненасичених вуглеводнів без додаткового калібрування детектора по формулам [2]:

$$\begin{aligned} H &= (100 - A) \frac{1,10S_H}{1,10S_H + S_0}, \\ O &= (100 - A) \frac{1,10S_0}{1,10S_H + S_0}, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де  $A$ ,  $H$ ,  $O$  - вміст ароматичних, насичених і олефінових груп, %;

$S_H$  і  $S_0$  - площі насичених і олефінових піків відповідно.

Описаний метод застосовний для аналізу моторних бензинів, бензинів каталітичного і термічного крекінгу, авіаційних палив. Стандартне відхилення для олефінів при вмісті їх на рівні 40% складає для цього методу 1,7% проти 7,6% для методу ФІА, а для ароматичних вуглеводнів (при рівні 15%) складає 0,32% проти 3,2% для методу ФІА.

## 1.6. Аналіз методів контролю якості нафтопродуктів і постановка задачі на бакалаврську роботу

Методи для визначення октанового числа, що описані в пункті 1.1 використовуються в лабораторіях, на нафтопереробних заводах та ін. Ці методи призначені тільки для лабораторних випробувань і є стандартними методами для визначення ОЧ. Негативною стороною цих методів є те, що ці методи дозволяють отримати результати досліджень не раніше ніж через 1-2 години, а в реальних умовах роботи заводських лабораторій як правило 2-3 години, що є досить довго і не дозволяє контролювати даний параметр пального при виробництві.

Фракційний склад пального визнається за допомогою стандартного приладу.

Дане дослідження триває близько  $15 \pm 5$  хвилин, проводиться тільки в лабораторних умовах і вимагає клопіткої праці лаборанта, який повинен уважно слідкувати за приладом, його показами і відповідно до методики проводити дане дослідження нафтопродукту.

У третьому розділі було розглянуто методи за допомогою яких визначається вміст води у нафтопродуктах. Хімічні методи проводяться у лабораторних умовах з використанням певних реагентів відповідно до методу дослідження, і вимагає певного часу на проведення контролю. Також це певні витрати на реагенти, потрібно слідкувати за умовами їхнього зберігання, що не завжди є зручно, оскільки дані дослідження проводяться в лабораторних умовах. Фізичні методи по визначенню вмісту води представлені великою кількістю методів вирішення даного питання. Деякі з них дають досить непогані результати, хоча як правило фізичні методи визначення вмісту вологи в нафтопродукті призначені для лабораторного дослідження.

Метод випробування пального на мідній пластині дозволяє тільки якісно визначити наявність сірки у нафтопродукті. Для кількісного визначення сірки в нафтопродукті використовують автоматичний аналізатор сірки, що описаний в пункті 1.4.2 та розрахований для автоматичного контролю сірки в процесі виробництва нафтопродукту. Даний метод є небезпечним для здоров'я людини, оскільки в ньому використовується гамма випромінювання.

На даний час хроматографічний метод дослідження нафтопродукту дає найбільш детальну інформацію про хімічний склад нафтопродукту. За цією інформацією можна судити про всі характеристики пального. Хоча хроматограф досить дорогий прилад і для проведення контролю приладами такого типу потрібно від 15 хвилин до 2 годин, що є не завжди зручно. Прилади такого класу не використовуються у польових умовах, а призначені для лабораторного дослідження.

Сучасні автомобільні бензини, як правило, є сумішами компонентів, що отримуються різними технологічними процесами. У бензинах залежно від

вуглеводневого складу сировини і технології отримання може міститися більше 200 індивідуальних вуглеводнів різної будови, вміст яких, а також їх взаємодія між собою і визначає властивості бензину.

Особливе значення при приготуванні якісних бензинів має знання показників якості що характеризують експлуатаційні властивості товарних бензинів (октанові числа (ОЧ) по моторному і дослідницькому методах (MON, RON), густина, фракційний склад, вміст сірки, вміст ароматичних з'єднань).

Скорочення перевищення ОЧ над нормованим, скорочення вмісту дорогих добавок, раціональне використання компонентів товарних бензинів, при приготуванні бензину на виробництві дає економію в десятки мільйонів доларів в рік.

Під час компаундування потрібно контролювати співвідношення компонентів змішування, їх якісні характеристики, концентрації, а також отримуваний в змішування товарний бензин. Чим швидше буде отриманий результат, що характеризує властивість отриманого в результаті змішування бензину, тим швидше може бути внесена поправка в приготування бензину.

Одним з методів швидкого (on-line) отримання результату, що характеризує властивість бензину, є використання аналізатора якості, що працює в ІЧ-області. Саме розробка такого приладу і буде завданням на бакалаврську роботу.

Постановка задачі на бакалаврську роботу:

1. Теоретично обґрунтувати можливість розробки приладу для контролю якості різних сортів пального, зокрема, визначення октанового числа, вмісту сірки та води в пальному.
2. Розробити функціональну та електричну принципову схеми приладу для контролю якості нафтопродуктів на оптичному принципі дії.

3. Розробити конструкцію приладу для контролю якості нафтопродуктів.
4. Розробити конструкцію електронного та механічного вузлів приладу. Цей прилад повинен працювати в ІЧ області, швидко проводити дослідження, під'єднуватись до персонального комп'ютера з подальшим збереженням результатів аналізу в базу даних на комп'ютері, бути компактним та мати здатність до роботи в польових умовах, на АЗС, чи в лабораторії. Також, прилад повинен бути не вибагливий при експлуатації і не шкідливий для навколишнього середовища.
5. Розробка методики проведення контролю якості нафтопродуктів за допомогою спроектованого приладу.
6. Здійснити метрологічний аналіз спроектованого приладу.
7. Розробити заходи техніки безпеки і безпечних умов праці.

## 2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

### 2.1 Теоретичне обґрунтування оптичного методу контролю якості нафтопродуктів

#### 2.1.1 Дисперсія світла

Будь-яке середовище, за винятком абсолютного вакууму, володіє дисперсією, тобто залежністю показника заломлення електромагнітних хвиль від їх частоти. Найкращим наближенням до вакууму є міжпланетний і міжзоряний простір. За астрофізичними даними середня щільність речовини в міжпланетному просторі складає біля одного атома (іона) на  $1 \text{ см}^3$ . У міжзоряному просторі нашої Галактики середня концентрація речовини — близько  $10^{-2}$  атомів на  $1 \text{ см}^3$ , а в міжгалактичному просторі ще менше. У кращих же вакуумних приладах вона не менше за  $10^4$  атома на  $1 \text{ см}^3$ , а зазвичай значно більше.

Відсутність дисперсії біля міжзоряного простору доводиться астрономічними спостереженнями над затьмареннями подвійних зірок. Допустимо, наприклад, що червоні промені в міжзоряному просторі поширюються швидше синіх. Тоді при початку затьмарення повинна була б спостерігатися зміна кольору зірки від нормального до синього, а при закінченні — від червоного до нормального. При колосальних відстанях до зірок цей ефект не міг би вислизнути від спостереження, навіть якщо б різниця в швидкостях червоних і синіх променів виявилася досить малою. Насправді у видимій області спектру він виявлений не був. Ще Араго на підставі своїх спостережень над подвійною зіркою Альголь прийшов до висновку, що різниця між швидкостями червоних і синіх променів в усякому разі не може перевищувати однієї стотисячної швидкості світла [4].

Звичайно, відсутність дисперсії видимого світла в міжзоряному просторі експериментально доведена лише з тією точністю, яку може забезпечити

експеримент. Спостереження над пульсарами за допомогою сучасних радіоприймальних пристроїв дозволили встановити наявність дисперсії міжзоряного простору в області радіо діапазону.

Феноменологічна теорія Максвелла, що не містить ніяких атомно-молекулярних констант, не давала пояснення дисперсії світла. Для цього необхідні атомістичні уявлення. Дисперсія світла виникає в результаті вимушених коливань заряджених часток — електронів і іонів — під дією змінного поля електромагнітної хвилі.

У класичній теорії Г. А. Лорентца будова систем, що коливаються, — атомів і молекул — і їх коливання описуються на основі класичних уявлень про рух і законів Ньютона. Теоретичному розгляду найпростіше піддається дисперсія в газах, оскільки в цьому випадку в першому наближенні можна не враховувати складну взаємодію атомів і молекул середі. Для не дуже щільних газів основні припущення теорії виконуються з меншою натяжкою, чим в випадку середовища, що конденсує. Тому експериментальну перевірку цих припущень краще всього проводити саме на газах, для яких і теорія розроблена краще. Надалі ми в основному обмежимося цим простим випадком.

Всі електрони, що входять в атом, можна розділити на периферійні, або оптичні, і електрони внутрішніх оболонок. На випромінювання і поглинання світла в оптичній області спектру роблять вплив практично тільки оптичні електрони. Власні частоти електронів внутрішніх оболонок дуже великі, так що їх коливання в полі світлової хвилі практично не збуджуються. Тому в теорії дисперсії можна обмежитися розглядом одних тільки оптичних електронів.

Для простоти передбачимо спочатку, що в атомі є всього один оптичний електрон. У класичній теорії дисперсії оптичний електрон розглядається як затухаючий гармонійний осцилятор, коливання якого в полі світлової хвилі описуються рівнянням:  $m\ddot{r} = -kr - g\dot{r} + eE'$ , де  $m$  — маса,  $e$  — заряд електрона,  $-kr$  — квазіпружна повертаюча сила, що прагне повернути електрон в положення рівноваги,  $-g\dot{r}$  — сила, аналогічна силі тертя і введена для

врахування поглинання світла,  $E'$  — напруженість електричного поля, що діє на електрон. Поле  $E'$  відрізняється від середнього макроскопічного поля  $E$ , що входить в рівняння Максвелла, але у випадку нещільних газів цією відмінністю можна нехтувати. Розділивши на  $t$ , приведемо попереднє рівняння до вигляду

$$\ddot{r} + 2\gamma\dot{r} + \omega_0^2 r = \frac{e}{m} E', \quad (2.1)$$

де  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ ,  $2\gamma = \frac{g}{m}$ .

Магнітною силою  $\frac{e}{c}[\nu H]$ , що діє на електрон, ми нехтували, оскільки швидкість електрона  $\nu$  досить мала в порівнянні з швидкістю світла  $c$ .

Ця сила виявляється лише в світловому тиску, який в звичайних умовах малий і в розглядуваному нами питанні не грає істотної ролі.

Всі сили, що діють в середині атомів і молекул, мають електричну природу. Такими силами визначається і внутрішня структура цих часток. Проте пояснити цими силами існування і структуру атомів і молекул, на основі класичних уявлень, виявилось неможливим. Це було зроблено тільки у рамках квантової фізики. Жодних квазіпружних сил і сил тертя, пропорційних швидкості заряджених часток, в атомах і молекулах немає. Правильна теорія дисперсії повинна брати до уваги тільки реально існуючі сили і ґрунтуватися на квантових законах. Таку теорію дає квантова механіка. Проте вона приводить до вражаючого результату, що у відношенні дисперсії і поглинання світла атоми і молекули поведуться так, як би середовище було набором осциляторів з різними власними частотами і коефіцієнтами згасання, що підкоряються класичним рівнянням руху Ньютона.

Власні частоти і коефіцієнти загасання не можуть бути розраховані на основі класичної моделі. У класичній теорії на них треба дивитися як на формально введені постійні. Обчислення цих постійних і розкриття їх дійсного фізичного сенсу можливе тільки в рамках квантової теорії. На класичну ж теорію треба дивитися як на теорію, що дає модель дисперсного середовища,

яка приводить до правильних остаточних результатів, якщо до неї застосовувати закони класичної механіки.

Потім від цього зауваження можна перейти до викладу класичної теорії дисперсії, не побоюючись, що зміст цієї теорії буде сприйнятий неправильно.

Припустимо, що поле  $E$  представляється плоскою хвилею  $E = Ae^{i(\omega t - kr)} = E_0(r)e^{i\omega t}$ . Амплітуда поля  $E_0 = Ae^{-ikr}$  змінюється від точки до точки. Значить в різних точках траєкторії на електрон діє поле різної амплітуди. Вказана призводить до появи так званої просторової дисперсії.

Однак ми знехтуємо цією обставиною, припускаючи, що амплітуда коливань електрона  $r_0$  мала в порівнянні з довжиною хвилі  $\lambda$ .

Для теорії дисперсії має значення не загальне, а тільки часткове вирішення рівняння (2.1), яке описує вимушені коливання осцилятора  $r = r_0 e^{i\omega t}$ . Амплітуду  $r_0$  можна визначити шляхом підстановки цього виразу в формулу 2.1. Якщо знехтувати різницею між  $E$  і  $E'$  то отримаємо [4]:

$$r = \frac{e/m}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2i\omega\gamma} E \quad (2.2)$$

Атом в електричному полі набуває дипольного моменту  $P = er = \beta E$ , де  $\beta$  - поляризованість атома, яка визначається формулою:

$$\beta = \frac{e^2/m}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2i\omega\gamma} \quad (2.3)$$

Якщо  $N$  — число атомів в одиниці об'єму, то вектор поляризації середовища буде  $P = Np = N\beta E$ , а індукція

$$D = E + 4\pi P = \epsilon E, \quad (2.4)$$

де

$$\epsilon = 1 + \frac{4\pi N e^2/m}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2i\omega\gamma} \quad (2.5)$$

Матеріальне рівняння  $D = \epsilon E$  приймає такого ж вигляду, як і у формальній теорії Максвелла, з тією істотною відмінністю, що діелектрична проникність  $\epsilon$

тепер залежить від частоти  $\omega$ . Тому зберігають силу всі раніше отримані результати, якщо в них постійну  $\varepsilon$  замінити функцією  $\varepsilon(\omega)$ . Функція  $\varepsilon(\omega)$  вийшла комплексною. Цього і слід було чекати, оскільки в нашій моделі враховано поглинання світла. Введемо комплексний показник заломлення по формулі

$$\sqrt{\varepsilon} = n - i\aleph \quad (2.6)$$

де  $n$  — показник заломлення,  $i\aleph$  — показник згасання середовища. Обидві функції  $n(\omega)$  і  $\aleph(\omega)$  залежать від частоти. Таким чином, отримують принципове, хоча і формальне пояснення не лише дисперсія, але і абсорбція світла.

Піднесемо (2.6) до квадрату і порівняємо реальні і уявні частини отриманого співвідношення і співвідношення (2.5). Тоді отримаємо

$$n^2 - \aleph^2 = 1 + 4\pi \frac{Ne^2 / m}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \gamma^2} (\omega_0^2 - \omega^2), \quad (2.7)$$

$$n\aleph = 4\pi \frac{Ne^2 / m}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \gamma^2} \omega\gamma. \quad (2.8)$$

За допомогою цих формул показники заломлення і згасання  $n$  і  $\aleph$  можна виразити через частоту  $\omega$  і молекулярні параметри  $N$  і  $e^2 / m$ .

Далеко від власної частоти  $\omega_0$ , де  $2\omega\gamma \ll |\omega_0^2 - \omega^2|$ , уявною частиною в (2.5) можна знехтувати і отримати наближену формулу:

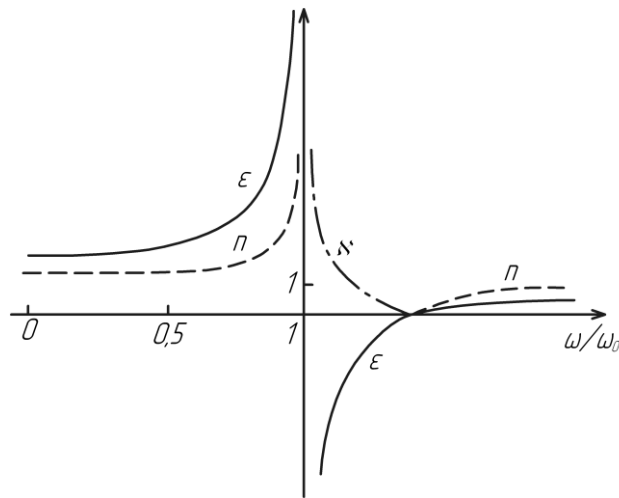
$$\varepsilon = n^2 = 1 + \frac{4\pi Ne^2 / m}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (2.9)$$

Формула для  $n$  такого вигляду вперше була отримана Зельмейером в 1871р. у механічній теорії ефіру.

Звичайно, у формулі самого Зельмейера немає жодного натяку на зв'язок показника заломлення із діелектричною проникністю  $\varepsilon$  і взагалі із іншими величинами, що характеризують електричні властивості середовища.

На рисунку 2.1 суцільною лінією представлений графік функції  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ . Під час переходу через точку  $\omega = \omega_0$  ця функція зазнає стрибка від  $+\infty$  до  $-\infty$ .

Показник заломлення  $n$  представлений штриховою лінією, а показник згасання  $\aleph$  — штрих-пунктирною лінією. Величина  $n$  перетворюється в нуль на ділянці, де  $\varepsilon(\omega) < 0$ .



Суцільна лінія - графік функції  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ ;

Штрихова лінія - показник заломлення  $n$ ;

Штрих-пунктирна лінія - показник згасання  $\aleph$ .

Рисунок 2.1 – Моделі непоглинаючого середовища

Показник згасання  $\aleph$ , навпаки, на цій ділянці відмінний від нуля, і перетворюється в нуль при всіх інших частотах. Величина  $\aleph$  описує саме згасання, а не поглинання хвиль, оскільки криві на рисунку 2.1 відносяться до моделі непоглинаючого середовища (діелектрична проникність  $\varepsilon$  всюди вагома). Втім, ці висновки мають формальний характер, оскільки поблизу власної частоти  $\omega_0$  співвідношення  $2\omega\gamma \ll |\omega_0^2 - \omega^2|$  не виконується, а тому формулу (2.9) застосовувати не можна. В дійсності під час переходу через точку  $\omega = \omega_0$  величини  $\varepsilon$ ,  $n$ ,  $\aleph$  повинні змінюватися безперервно, ніде не перетворюючись в нескінченність.

Зокрема, гілка кривої  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ , що піднімається лівіше за точку  $\omega = \omega_0$  повинна переходити в ту, що опускається, щоб зімкнутися з іншою гілкою, що піднімається, розташованою правіше від тієї точки.

Це зауваження дозволяє без особливих зусиль представити хід кривих  $n$  і  $\aleph$  в області смуги поглинання. Типовий вигляд кривих  $n = n(\omega)$  і  $\aleph = \aleph(\omega)$  приведений на рисунку 2.2.

Там, де поглинання невелике, показник заломлення  $n(\omega)$  зростає з частотою. В цьому випадку говорять, що дисперсія нормальна. В області сильного поглинання  $n(\omega)$  зменшується з частотою. Таку дисперсію називають аномальною. Її важко спостерігати через сильне поглинання.

Теоретичні міркування, викладені вище, справедливі не тільки для електронів, але і для іонів, і до того ж в останньому випадку класичні уявлення більш обґрунтовані зважаючи на велику кількість іонів. У всіх тілах спостерігається не одна, а декілька смуг поглинання. Щоб це врахувати, в класичній модельній теорії приймається, що речовина побудована з часток різного типу — електронів і іонів, які поводяться як затухаючі гармонійні осцилятори з різними власними частотами. У газах можна нехтувати їх взаємодією.

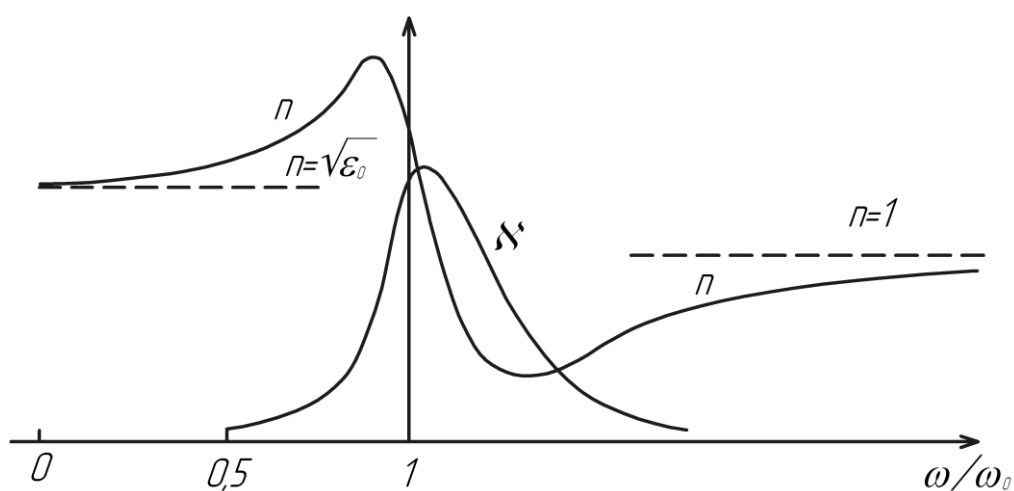


Рисунок 2.2 - Вигляд кривих  $n = n(\omega)$  і  $\aleph = \aleph(\omega)$

Тоді формула (2.5) набирає вигляду:

$$\varepsilon = 1 + \sum_k \frac{4\pi N_k e_k^2 / m_k}{\omega_k^2 - \omega^2 + 2t\omega\gamma_k}, \quad (7.10)$$

де  $N_k$ ,  $m_k$ ,  $e_k$ ,  $\omega_k$ ,  $\gamma_k$  — концентрація, маса, заряд, власна частота і коефіцієнт згасання осцилятора  $k$ -го типу, а підсумовування ведеться по всіх  $k$ .

Кожній власній частоті відповідає своя лінія поглинання, поблизу якої показник заломлення міняється аномально. Спільний хід показника заломлення в залежності від частоти представлений схематично на рисунку 2.3.

Порівнюючи формулу (2.10) з досвідом, можна знайти коефіцієнти  $C_k = N_k e_k^2 / m_k$ . За цими даними можна оцінити питомі заряди  $e_k / m_k$  і зробити висновок щодо природи осциляторів. Дійсно, заряди  $e_k$  по порядку величини не можуть істотно відрізнятись від елементарного заряду  $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$  СГСЕ, а  $N_k$  — від числа атомів в одиниці об'єму, тобто від  $N_{AB} \rho / A$ , де  $N_{AB}$  — число Авогадро,  $\rho$  — щільність (густина) речовини,  $A$  — атомна маса (по старій

термінології — атомна вага). Таким чином

$$C_k = \frac{N_k e_k^2}{m_k} \approx \rho \frac{N_{AB} e}{A} \cdot \frac{e_k}{m_k} = \rho \frac{F}{A} \cdot \frac{e_k}{m_k},$$

де  $F = N_{AB} e = 2,9 \cdot 10^{14}$  СГС  $\cdot$  г  $\cdot$  екев<sup>-1</sup> — число Фарадея. За допомогою цієї формули можна оцінити величини  $e_k / m_k$ .

Таким шляхом, у згоді з теоретичними уявленнями, було знайдено, що всі осцилятори чітко підрозділяються на дві групи: в одній питомі заряди по порядку величини такі ж, як і в електронів, в іншій — як в іонів. Першим відповідають смуги поглинання, що лежать в ультрафіолетовій (рідше — у видимій), другим — в інфрачервоній області спектру.

Формула (2.10) і відповідні їй формули для  $n$  і  $\mathfrak{N}$  застосовні і в випадку металів. У інфрачервоній області спектру основну роль відіграють вільні

електрони, для яких слід покласти  $\omega_k = 0$ . Впливають також іони поблизу їх власних частот.

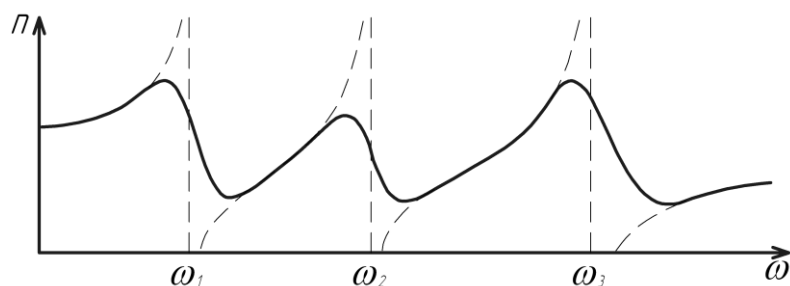


Рисунок 2.3 - Спільний хід показника заломлення в залежності від частоти

У видимій і ближній до неї ультрафіолетовій областях спектру формула (2.10) задовільно узгоджується з досвідом, якщо поряд з вільними електронами врахувати також електрони, зв'язані в іонах металу (коливання самих іонів в цих областях спектру не відіграють важливої ролі).

Врахуємо тепер, взаємодію молекул поляризованих електричним полем світлової хвилі. Для цього скористаємося методом діючого поля.

У кристалах кубічної системи, побудованих з точкових і ізотропних атомів, поле  $E'$ , що діє на молекулу, пов'язано з середнім максвелівським полем  $E$  співвідношенням:

$$E' = E + \frac{4\pi}{3} P \quad (2.11)$$

Таке ж співвідношення приблизно справедливо для ізотропних газів і рідин, побудованих з ізотропних молекул, якщо під  $E'$  розуміти діюче поле, усереднене по положеннях центрів молекул у фізично нескінченно малому об'ємі середовища. Формула (2.11) виведена в електростатиці, але нею можна приблизно користуватися і в разі змінних полів, коли довжина хвилі велика в порівнянні з міжмолекулярними відстанями.

Передбачатимемо, що всі молекули однакові і кожна з них містить тільки один оптичний електрон. Крім того, нехтуватимемо згасанням, передбачаючи, що частота  $\omega$  далека від смуги поглинання. У цих припущеннях все, що

потрібно зробити, — це замінити в рівнянні (2.1)  $E'$  виразом (2.11). Так була отримана формула Мосотті — Клаузіуса:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} N\beta \quad (2.12)$$

Підставивши сюди  $\varepsilon = n^2$  і вираження для  $\beta$  із формули (2.3), прийдемо до співвідношення [4]:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi}{3} \frac{Ne^2 / m}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2.13)$$

Воно називається формулою Лорентца— Лоренца. З нього виходить, що для даної речовини при незмінній частоті  $\omega$  повинне виконуватися співвідношення (2.14) оскільки концентрація  $N$  молекул пропорційна густині речовини  $\rho$ .

$$r = \frac{1}{\rho} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = const \quad (2.14)$$

Величина, що стоїть в лівій частині цього співвідношення, називається питомою рефракцією. Таким чином, згідно формулі Лорентца — Лоренца питома рефракція речовини не повинна змінюватися при зміні густини.

У ряді випадків формула (2.14) добре виконується. Так, для повітря при зміні тиску від 1 до 200 атм постійність питомої рефракції виконується із помилкою, що не перевищує 0,1%. Нерідко питома рефракція залишається приблизно постійною навіть під час переходу речовини із пароподібного стану в рідкий. Так, при зрідженні газоподібного кисню (зміна густини в 800 разів) або конденсації водяної пари (зміна густини в 1200 разів) питома рефракція залишається постійною з точністю до 2—3%. Ці факти дивні, тому що в приведених прикладах припущення, в яких виведена формула (2.11), без сумніву не виконуються. Проте є багато випадків відходження від формули (2.14).

Ще більш дивне емпіричне правило, по якому можна приблизно обчислювати рефракцію суміші або хімічної сполуки. Якщо речовина

складається з однакових часток (атомів або молекул), то  $\delta = Nm$ , де  $m$  — маса однієї частинки. Тому з формули (2.12) з врахуванням співвідношення  $\varepsilon = n^2$  отримуємо

$$\beta = \frac{3}{4\pi} mr \quad (2.15)$$

Поляризованість частинки  $\beta$ , а з нею і величина  $mr$  є властивість тільки самої частинки. Правило, яке було згадано вище, полягає в тому, що поляризованість частинки адетивна тобто поляризованість складної частинки дорівнює сумі поляризованих частинок з яких вона складається. Отже

$$mr = \sum m_i r_i \quad (2.16)$$

де  $m$  і  $m_i$  — маси складової і складених частинок, а  $r$  і  $r_i$  — питомі рефракції відповідних їм хімічних речовин. Це правило відноситься не лише до механічних сумішей, але і до хімічних сполук. Візьмемо в якості складових частинок атома, а в якості складених — молекули. Тоді  $m_i = A_i m_H$ ,  $m = M m_H$ , де  $m_H$  — маса атома водню, а  $M$  і  $A_i$  — відповідні молекулярна і атомні маси. Тому формула (2.16) переходить в:

$$Mr = \sum A_i r_i \quad (2.17)$$

Добуток питомої рефракції на атомну масу називається атомною, а на молекулярну масу — молекулярною рефракцією. Таким чином, молекулярна рефракція хімічної сполуки дорівнює сумі атомних рефракцій.

Окрім дисперсії, пов'язаної з вимушеними коливаннями електронів і іонів, існує інший вид дисперсії, на який звернув увагу Дебай. Вона виявляється в середовищі з полярними молекулами, головним чином в рідинах. Полярні — це такі молекули, які володіють «твердими» дипольними моментами, обумовленими несиметричним розподілом зарядів усередині молекули. Полярні молекули можуть володіти і «індукованими» дипольними моментами, що збуджуються зовнішнім електричним полем. Як правило, індуковані моменти полярних молекул малі в порівнянні з твердими.

У відсутність електричного поля дипольні моменти полярних молекул ізотропного середовища орієнтуються в просторі по всіх напрямках і притому хаотично. В цьому випадку середовище ніякою електричною поляризацією не володіє. При накладенні електричного поля воно прагне орієнтувати дипольні моменти молекул уздовж поля, причому ця орієнтація постійно порушується із-за теплового руху. В результаті в середовищі виникає електрична поляризація. Якщо електричне поле міняється в часі з частотою  $\omega$ , то з тією ж частотою мінятиметься ця «орієнтаційна» поляризація і обумовлена нею діелектрична проникність середовища. Амплітуди вимушених обертань полярних молекул залежать від частоти з прикладеного електричного поля. З цим пов'язана дисперсія обертальної частинки діелектричної проникності і показника заломлення.

Не вникаючи в докладний кількісний розгляд, обмежимося якісними зауваженнями.

У полях низьких частот встигає встановитися така ж миттєва поляризація середовища, як і в статичних полях. У такій області частот величини  $\varepsilon$  і  $n$  практично постійні, тобто не залежать від  $\omega$ . Якщо дипольні моменти полярних молекул великі, як, наприклад, для води і спиртів, то в цій області частот значення  $\varepsilon$  і  $n$  великі. Так, у випадку води  $\varepsilon = 81$ ,  $n = \sqrt{\varepsilon} = 9$ .

У іншому граничному випадку дуже високих частот дипольні молекули не встигають помітно повертатися за час порядку періоду світлових коливань. У цій області частот практично немає вимушених обертань молекул, тобто обертальні частинки  $\varepsilon$  і  $n$  випадають. Тому повинна існувати проміжна область частот, в якій величини  $\varepsilon$  і  $n$  аномально сильно зменшуються до тих значень, які вони приймають в оптичній області спектру. Така область частот для води і спиртів лежить в діапазоні сантиметрових радіохвиль. За межами цієї області (з боку високих частот) молекули починають поводитися себе так, як якби вони не були полярними. Цим пояснюється різка розбіжність між показником

заломлення води  $n$  в оптичній області спектру і значенням  $\sqrt{\varepsilon}$  у електростатиці і області низькочастотних електромагнітних хвиль.

Цим же пояснюється, чому в оптиці магнітну проникність  $\mu$  майже завжди можна вважати рівній одиниці для всіх речовин. Дійсно, механізм намагнічення — такий же, як і поляризації полярних діелектриків. Він полягає в орієнтації магнітних моментів атомів і молекул в зовнішньому магнітному полі. Але цей ефект не має місця у високочастотних полях, видимої та прилягаючої до неї областей спектру.

Підводячи підсумки, дамо схематичний огляд дисперсії у всьому діапазоні частот електромагнітних хвиль. В області радіохвиль, що довше за 1 см важлива тільки одна власна частота  $\omega_0 = 0$ , якою володіють вільні електрони або іони. У вказаному радіодіапазоні дисперсією практично можуть володіти тільки іонізовані гази. Якщо вільних електронів або іонів немає, то в цьому діапазоні немає дисперсії.

У полярних діелектриках дисперсія з'являється приблизно з сантиметрового діапазону радіохвиль. Показник заломлення зменшується з частотою, тобто дисперсія аномальна, а поглинання велике.

По мірі наближення до власних частот іонів дисперсія стає нормальною, а всередині самої смуги поглинання, обумовленої коливаннями іонів, — аномальною. Після проходження через інфрачервону область поглинання вдалі від неї вимушені коливання іонів практично припиняються. Тут, а також у видимій і ультрафіолетовій областях спектру дисперсія викликається коливаннями тільки зв'язаних оптичних електронів. У прозорій області (точніше, області слабого поглинання) вона має нормальний, а в області сильного поглинання — аномальний характер. Смуга поглинання лежить зазвичай в області ультрафіолету, а інколи у видимій області.

### 2.1.2 Абсорбція світла

Пройдення світла через речовину веде до виникнення коливань електронів середовища під дією електромагнітного поля хвилі і супроводжується втратою енергії хвилі, витраченої на збудження коливань електронів. Частково ця енергія знову повертається випромінюванню у вигляді вторинних хвиль, що посилюються електронами, частково ж вона може переходити в інші форми енергії. Якщо на поверхню речовини падає паралельний пучок (плоска хвиля) з інтенсивністю  $I$ , то описані процеси повинні вести до зменшення  $I$  по мірі проникнення хвилі в речовину. Інтенсивність плоскої хвилі виявляє таке систематичне зменшення, згідно закону [5]:

$$I = I_0 e^{-\alpha d}, \quad (2.18)$$

де  $I_0$  — інтенсивність хвилі, проникаючої в речовину,  $d$  — товщина шару і  $\alpha$  — коефіцієнт поглинання, залежний від довжини хвилі.

При вимірюванні  $\alpha$  треба враховувати, що частина світла відбивається на кордоні досліджуваної речовини, і вносити відповідні поправки, наприклад, за допомогою формул Френеля. Ще зручніше вимірювати інтенсивність світла  $I_1$  і  $I_2$ , що пройшло відповідно крізь шари товщини  $d_1$  і  $d_2$ . Обчислюючи коефіцієнт поглинання із співвідношення  $I_1/I_2 = \exp[\alpha(d_2 - d_1)]$ , знайдемо дійсне значення  $\alpha$ , вільне від поправок на віддзеркалення.

Числове значення цього коефіцієнта  $\alpha$  показує товщину шару  $d$ , яка рівна  $1/\alpha$ , після проходження якого інтенсивність плоскої хвилі падає в  $e = 2,72$  рази. Оскільки  $\alpha$  є функція довжини хвилі, то зазвичай її значення дають у вигляді таблиці або графіка, що має вигляд, подібний змальованому на рисунку 2.4.

Інколи залежність  $\alpha$  від  $\lambda$  має примхливий вигляд, виявляючи існування досить вузьких областей сильного поглинання (великі значення  $\alpha$ ), тоді як близько розташовані довжини хвиль проходять без помітного ослаблення.

Особливо добре виявляється поглинання при невисокому тиску в парах більшості металів, що є зборами атомів, розташованих на значній відстані один від одного, тобто практично ізольованими. Коефіцієнт поглинання такої пари скрізь дуже малий (близький до нуля) і лише для дуже вузьких спектральних областей (шириною в декілька сотих ангстрема) виявляються різкі максимуми. Так, для пари натрію коефіцієнт поглинання може бути зображений у вигляді кривої, показаної на рисунку 2.5.

При детально контрольованих умовах досліду удавалося спостерігати в спектрі поглинання пари Na до 50 таких пар (дублетів), які розташовані тим ближче, чим коротша довжина хвилі.

Вказані області різкої абсорбції атомів відповідають частотам *власних* коливань *електронів* усередині атомів. В випадку газів, молекули яких побудовані з декількох атомів, виявляються також *власні* частоти, відповідні коливанням *атомів* усередині молекули.

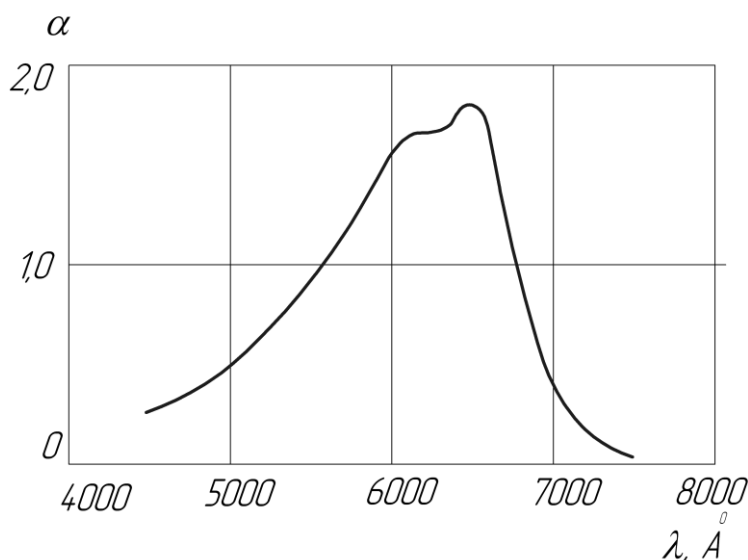


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення широкої смуги поглинання

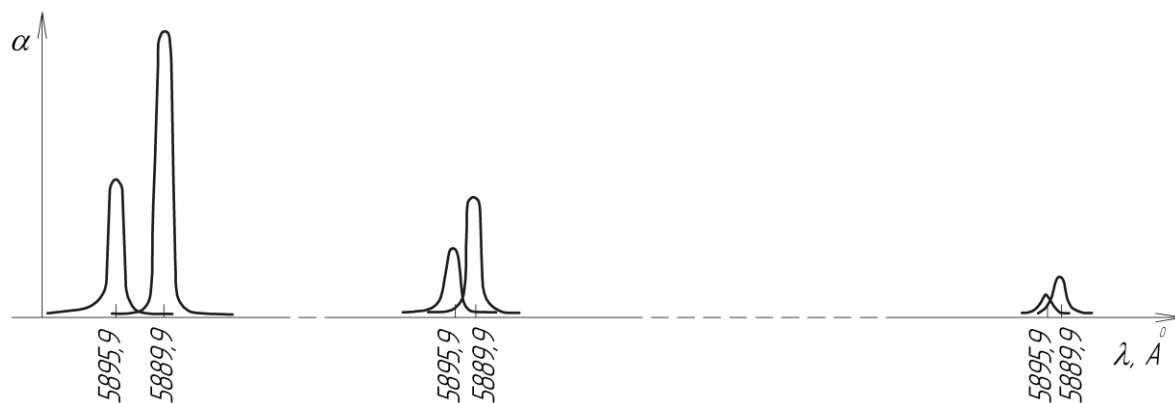


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення декількох дуплетів поглинання в парах натрію. Максимуми поглинання надзвичайно вузькі, масштаб грубо змінений.

Оскільки маси атомів в десятки тисяч разів більші від маси електрона, то ці молекулярні власні частоти володіють набагато більшими періодами, тобто відповідають інфрачервоній області спектру.

Якісне уявлення про залежність коефіцієнта поглинання від довжини хвилі можна отримати, сфотографувавши суцільний спектр будь-якого джерела через шар поглинаючої речовини.

Чим більший коефіцієнт поглинання для даної довжини хвилі, тим чіткіше виявиться ослаблення відповідних ділянок спектру.

Як правило, спектри поглинання твердих тіл і рідин (включаючи розчини фарб) дають широкі смуги поглинання (плавний хід коефіцієнта  $\alpha$ ), хоча зустрічаються речовини з порівняно вузькими смугами поглинання (солі рідкоземельних, які в сотні і тисячі разів ширше за лінії поглинання атомарних газів. Спектр поглинання багатоатомних газів представляє ряд більш менш складних смуг, а одноатомні гази (пари металів) характеризуються різкими лініями поглинання, ширина яких нерідко вимірюється сотими долями ангстрема. У мірі зростання тиску газів їх спектри поглинання стають все більше і більше розпливчатими і при високому тиску наближаються до спектрів поглинання рідин. Ці спостереження показують, що розширення вузьких смуг поглинання є результатом взаємодії атомів один з одним.

Спільна закономірність  $I = I_0 e^{-\alpha d}$ , що вводить поняття коефіцієнта поглинання  $\alpha$  показує, що інтенсивність світла падає в геометричній прогресії, коли товщина шару наростає в арифметичній прогресії, була встановлена експериментально і обґрунтована теоретично Бугером (1729 р.). Вона називається *законом Бугера*. Фізичний зміст цього закону полягає в тому, що показник поглинання не залежить від інтенсивності світла, а отже, і від товщини поглинаючого шару. Закон Бугера виконується в широких межах зміни інтенсивності світла (приблизно 1020 разів).

Проте слід взяти до уваги, що при поглинанні світла молекула переходить в новий, збуджений стан, запасаючи поглинуту енергію. Поки вона в такому стані, її здатність поглинати світло змінена. Число збуджених молекул в кожний момент залишається незначним, тобто вони дуже короткий час знаходяться у збудженому стані. Для речовин, з якими були виконані вказані досліди, його тривалість не перевищує  $10^{-8}$  с. До цього типу відносяться більшість речовин, для яких, справедливий закон Бугера. Вибравши спеціально речовини із значно великим часом збудженого стану, можна спостерігати, що при досить великій інтенсивності світла коефіцієнт поглинання зменшується, бо помітна частка молекул перебуває у збудженому стані. Ці відступи від закону Бугера представляють особливий інтерес, оскільки вони є історично першими вказівками на існування нелінійних оптичних явищ, тобто явищ, для яких несправедливий принцип суперпозиції. Подальші дослідження привели до відкриття великого класу споріднених явищ. Таким чином, закон Бугера має обмежену область застосування. Проте у великому числі випадків, коли інтенсивність світла не дуже велика і тривалість перебування атомів і молекул у збудженому стані досить мала, закон Бугера виконується з високим ступенем точності.

Бугер розглянув питання про поглинання світла середовищем, густина якого не скрізь однакова, і висловив переконання, що «світло може зазнавати однакових змін, лише зустрічаючи однакове число часток, здатних затримувати

промені або розсіювати їх», отже, для поглинання мають значення «не товщини, а маси речовини, що містяться в цій товщині». Цей *другий закон Бугера* набуває велике практичне значення, бо досвід дійсно показав, що у багатьох випадках, коли має місце поглинання світла молекулами газів або молекулами речовини, розчиненої в практично непоглинаючому розчиннику, коефіцієнт поглинання виявляється пропорційним числу поглинаючих молекул на одиницю довжини шляху світлової хвилі або на одиницю об'єму, тобто пропорційний концентрації  $c$ . Іншими словами, коефіцієнт абсорбції  $\alpha$  виражається співвідношенням:  $\alpha = Ac$  і узагальнений закон Бугера матиме вигляд [5]:

$$I = I_0 e^{-Acd}, \quad (2.19)$$

де  $A$  — новий коефіцієнт, не залежний від концентрації і характерний для молекули поглинаючої речовини.

Твердження, що  $A$  є постійна величина, не залежна від концентрації, називають *законом Бера*, який на підставі своїх вимірів поглинання світла забарвленими рідинами також прийшов до цього висновку (1852 р.). Його фізичний сенс полягає в тому, що поглинаюча здатність молекули не залежить від впливу навколишніх молекул. Закон цей треба розглядувати швидше як правило, бо спостерігаються багаточисельні відхилення від нього, особливо при значному збільшенні концентрації, тобто значному зменшенні взаємної відстані між молекулами поглинаючої речовини. Досить часто можна виявити залежність  $A$  для розчинених речовин від природи розчинника, що також вказує на вплив навколишніх молекул на поглинальну здатність молекули.

У тих випадках, коли коефіцієнт  $A$  можна вважати не залежним від концентрації, узагальнений закон Бугера (157.2) виявляється дуже корисним для визначення концентрації поглинаючої речовини шляхом вимірювання поглинання, яке може бути виконане дуже точно за допомогою фотометрів складної конструкції. Цим прийомом нерідко користуються в лабораторній і промисловій практиці для швидкого визначення концентрації речовин,

хімічний аналіз яких виявляється дуже складним (колориметрія і спектрофотометрія, спектральний аналіз абсорбції).

За останні роки особливий розвиток отримав аналіз молекулярного складу складних сумішей, заснований на вимірюванні поглинання в ультрафіолетовій і в інфрачервоній областях спектру. Спектри поглинання багатьох органічних молекул виявляються дуже характерними, завдяки чому вдається надійно встановлювати як молекулярний склад, так і кількісний вміст окремих компонент в суміші.

Цей метод відрізняється великою чутливістю, бо при малих концентраціях досліджуваної речовини  $c$  можна збільшити поглинання за рахунок збільшення товщини шару  $d$ . При дослідженні сумішей дуже складного складу виникають проблеми унаслідок накладення смуг поглинання різних речовин. Ця проблема більше виявляється в ультрафіолетовій області, ніж в інфрачервоній, бо, як правило, смуги поглинання в ультрафіолетовій частині спектру ширші, ніж в інфрачервоній. Істотну допомогу при аналізі надає попередня підготовка проби (розгін і деякі інші фізико-хімічні операції), які дозволяють розділити складну суміш на ряд фракцій простішого складу. Нерідко дуже корисним виявляється перехід від рідини до пари, а також вивчення абсорбції при низьких температурах.

Отже, можна зробити висновок, що закони абсорбції світла в основному визначаються властивостями атома або молекули, що поглинає світло, хоча дія навколишніх молекул може значно спотворити результат. Особливо у випадку рідких і твердих тіл вплив оточення інколи радикально змінює абсорбуючу здатність атома внаслідок того, що під дією полів навколишніх молекул поведінка електронів, визначаючих оптичні властивості атомів, змінюється до невпізнання. Особливо різоче в цьому відношенні поведінка металів. Добре відомо, що пари металів, таких, як срібло або натрій, є настільки ж хороші ізолятори, як і пари (гази) інших речовин, тоді як металеве срібло або натрій є якнайкращими провідниками електрики. Таким чином, поведінка найслабше

зв'язаних з атомами електронів в ізолюваних атомах металів і в конденсованому металі різко відрізняється. Відповідно до цього металевий натрій не виявляє жодних ознак спектру поглинання, характерного для пари натрію, що зображений на рисунку 2.5.

Амплітуда плоскої хвилі, що поширюється в поглинаючому середовищі на глибину  $z$ , виражається співвідношенням

$$I = I_0 e^{(-\frac{2\pi}{\lambda_0} n\kappa z)} \quad (2.20)$$

Цей закон еквівалентний закону Бугера, бо в даному випадку

$z = d$ , а коефіцієнт поглинання  $\alpha$  виразиться через  $\frac{2\pi}{\lambda_0} n\kappa z$ , оскільки інтенсивність хвилі пропорційна *квадрату* амплітуди. Як ми бачили, при  $g = 0$  коефіцієнт  $n\kappa$  (а отже, і  $\alpha$ ) перетворюється в нуль, тобто середовище, для якого  $g = 0$ , не поглинає світла.

Якщо інтенсивність світла і амплітуда коливань зарядів досить велика, то повертаюча сила вже не матиме квазіпружного характеру, і атом можна уявити собі як *ангармонічний осцилятор*. З курсу механіки відомо, що при розгойдуванні такого осцилятора синусоїдальною зовнішньою силою (частота  $\omega$ ) в його русі з'являються складові, що змінюються з частотами, кратними  $\omega_1$  — подвійними, потрійними і т.д. Нехай власна частота осцилятора  $\omega_0$ , що підрахована в гармонійному наближенні, збігається, наприклад, з частотою  $2\omega$ . Енергія коливань зарядів в цьому випадку досить велика, вона передається навколишньому середовищу, тобто виникає селективне поглинання світла з частотою, рівною  $\omega = \omega_0/2$ . Таким чином спектр поглинання речовини, окрім лінії з частотою  $\omega_0$ , повинен містити лінії з частотами, рівними  $\omega_0/2$ , а також  $\omega_0/3$  і т.д. Коефіцієнт поглинання для цих ліній збільшуватиметься із зростанням інтенсивності світла.

В рамках квантових уявлень власній частоті коливань  $\omega_0$  відповідає частота переходу  $\omega_{mn} = (E_m - E_n)/\hbar$  між позиціями  $m$  і  $n$ , що мають енергії  $E_m$  і  $E_n$ .

Отже, лінії поглинання з  $\omega_0/2$  відповідає перехід атома із стану  $n$  в стан  $m$  з одночасним поглинанням двох фотонів, тобто

$$E_m - E_n = \hbar\omega_{mn} = 2\hbar\omega. \quad (2.21)$$

Лінії  $\omega_0/3$  відповідає перехід, що супроводиться поглинанням трьох фотонів і т.д. Це явище отримало назву *багатофотонне поглинання*.

Багатофотонне поглинання може виявлятися досить різноманітно. Якщо, наприклад, речовину опроміювати світлом, у складі якого є спектральні компоненти з частотами  $\omega_1$  і  $\omega_2$ , то може відбутися поглинання двох фотонів  $\hbar\omega_1$  і  $\hbar\omega_2$  за умови, що  $\omega_1 + \omega_2 = \omega_{mn}$ . Відзначимо також, що в результаті поглинання багатьох фотонів оптичний електрон може також відірватися від атома (*багатофотонна іонізація*).

### 2.1.3 Визначення складу пального оптичним методом

Розглянемо характерні області поглинання ароматичних і неграничних вуглеводнів в ІЧ- області.

ІЧ-спектри поглинання ненасичених зв'язків досить характеристичні. Багато з характеристичних частот подвійних зв'язків знаходяться в області частот валентних коливань С—О і С—С, так що наявність смуги поглинання з характерним значенням частоти ще не можна вважати доказом присутності подвійного зв'язку певного типу проте відсутність відповідної смуги поглинання однозначно про відсутність неграничних груп.

Арени краще всього виявляються в ІЧ-області по смугах валентних коливань С—Н при  $3030 \text{ см}^{-1}$  і коливань С=C в області  $1600\text{—}1500 \text{ см}^{-1}$ . Якщо присутність аренового кільця встановлена, то розташування заступників можна

визначити по поглинанню в інтервалах 2000—1660, 1250—1000 і 1000—650  $\text{см}^{-1}$ . Найбільш важливим є інтервал 2000—1660  $\text{см}^{-1}$ , досліджуючи який можна отримати досить повні дані про характер заміщення. Решта областей служить для підтвердження і уточнення цих даних.

Ідентифікація карбонових кислот по ІК-спектрам достатньо надійна. Досить швидко можна визначити і кількість карбонових кислот. Кореляції карбоксильної групи приведені в таблиці. 1.

Для визначення кількості кислот можна отримати по калібрувальних пробах залежність між оптичною щільністю і кислотністю нафтопродуктів [2].

Тіоли характеризуються досить слабким поглинанням в ІЧ-спектрах, і в сумішах з нафтопродуктами їх можна визначити лише при досить високих концентраціях.

Таблиця 1 – Характеристичне поглинання карбоксильної групи ІЧ-областіка

Коливання	Частота, $\text{см}^{-1}$
1. Валентні групи ОН карбоксилу:	
1.) вільної	3560-3500
2) зв'язаної	2700-2500
2. С=Щ кислот:	
1) насичених аліфатичних	1725-1700
2) $\alpha, \beta$ ненасичених	1715-1690
3) ароматичних	1700-1680
4) із внутрішнім водневим зв'язком	1670-1650
Валентні С-О або деформовані ОН	1440-1395
Деформовані ОН	1320-1211
Деформовані ОН	950-900

Для тіолів характеристичним є поглинання валентних коливань зв'язків S—H і C—SH. Деформаційні коливання зв'язку S—H не можуть бути використані для дослідження, оскільки плоске деформаційне коливання S—H в ІЧ-спектрі не виявляється, а непласке — слабо поглинає в межах  $830\text{—}825\text{ см}^{-1}$ , де його важко інтерпретувати через накладення. Деформаційні коливання зв'язку C—SH повинні поглинати в області частот нижче  $400\text{ см}^{-1}$ . Ця область ІЧ-спектрів тіолів поки не вивчена.

У тіолах симетричні валентні коливання зв'язку S—H обумовлюють поглинання в області  $2595\text{—}2538\text{ см}^{-1}$  (рисунок 2.6). Поглинання тіолів  $C_1\text{—}C_2$  лежить в досить вузькій області ( $2567\text{—}2545\text{ см}^{-1}$ ). Із збільшенням молекулярної маси тіолів поглинання S—H зміщується в область вищих частот. Таким чином, частота поглинання валентних симетричних коливань залежить від індуктивності, мезомерії, конформаційних особливостей структури вуглеводневого скелету. Найімовірніше, індуктивність є головною причиною зміни частоти поглинання, тому існує лінійна залежність між точним значенням частоти і сумою електронегативних заступників в молекулі.

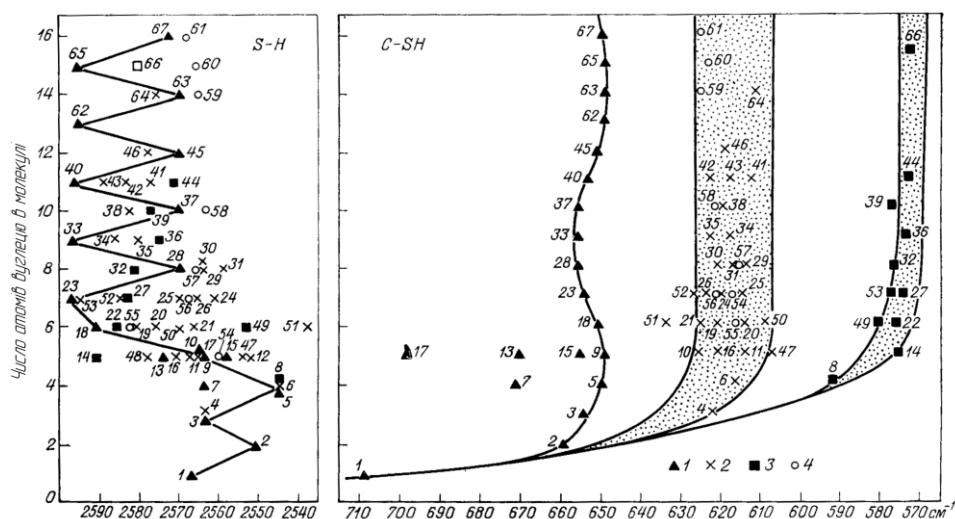


Рисунок 2.6 – Вплив будови тіолів на характеристичне поглинання зв'язків S-H і C-S

Для первинних тіолів  $C_7$ ,  $C_9$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{13}$ ,  $C_{15}$  нормальної будови частота поглинання зв'язку S—H має досить точне значення близько  $2596\text{ см}^{-1}$ , а  $C_8$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{16}$  зрушена в область менших частот ( $2570\text{ см}^{-1}$ ). Ця ж закономірність спостерігається і для більш низькомолекулярних тіолів, але тільки в області менших частот. Тіоли з непарною кількістю вуглецевих атомів  $C_1$ ,  $C_3$ ,  $C_5$  поглинають в межах  $2567\text{—}2564\text{ см}^{-1}$ , з парним  $C_2$ ,  $C_4$  — в області  $2550\text{—}2545\text{ см}^{-1}$ . Виключенням являється 1-гексантиол, S—H- зв'язок якого поглинає при  $2591\text{ см}^{-1}$ .

Зв'язок S—H ароматичних тіолів  $C_7\text{—}C_{16}$  поглинає в межах  $8\text{ см}^{-1}$  ( $2568\text{—}2560\text{ см}^{-1}$ ); у тіофенолі, ця частота вища —  $2584\text{ см}^{-1}$ . Інтенсивність поглинання зв'язку S—H в аліфатичних тіолах закономірно зменшується із збільшенням їх молекулярної маси, відповідно цьому зменшується і коефіцієнт екстинкції (рисунок 2.7).

Первинні, вторинні і третинні аліфатичні насичені тіоли з однаковою молекулярною масою мають практично однакову інтенсивність поглинання зв'язку S—H. На рисунку 2.7 показана, як приклад, інтенсивність поглинання тіолов  $C_4$  і  $C_{12}$  ізомерної будови

В порівнянні з аліфатичними циклічні насичені тіоли мають велику інтенсивність поглинання зв'язку S—H і відповідно цьому більший коефіцієнт екстинкції (рисунок 2.7). Із збільшенням числа вуглецевих атомів в циклі інтенсивність поглинання S—H зменшується. Найбільшу інтенсивність поглинання серед циклічних насичених тіолів матиме циклопропантиол. Із збільшенням довжини і числа бічних вуглецевих заступників інтенсивність поглинання зв'язку S—H зменшується, наближаючись до інтенсивності поглинання аліфатичних насичених тіолів. Найбільша інтенсивність поглинання зв'язку S—H характерна для тіофена, що пояснюється специфічною електронною будовою бензолового кільця. Введення в тіофенол металевих груп значно зменшує інтенсивність поглинання S—H-зв'язку (приблизно у 4 рази).

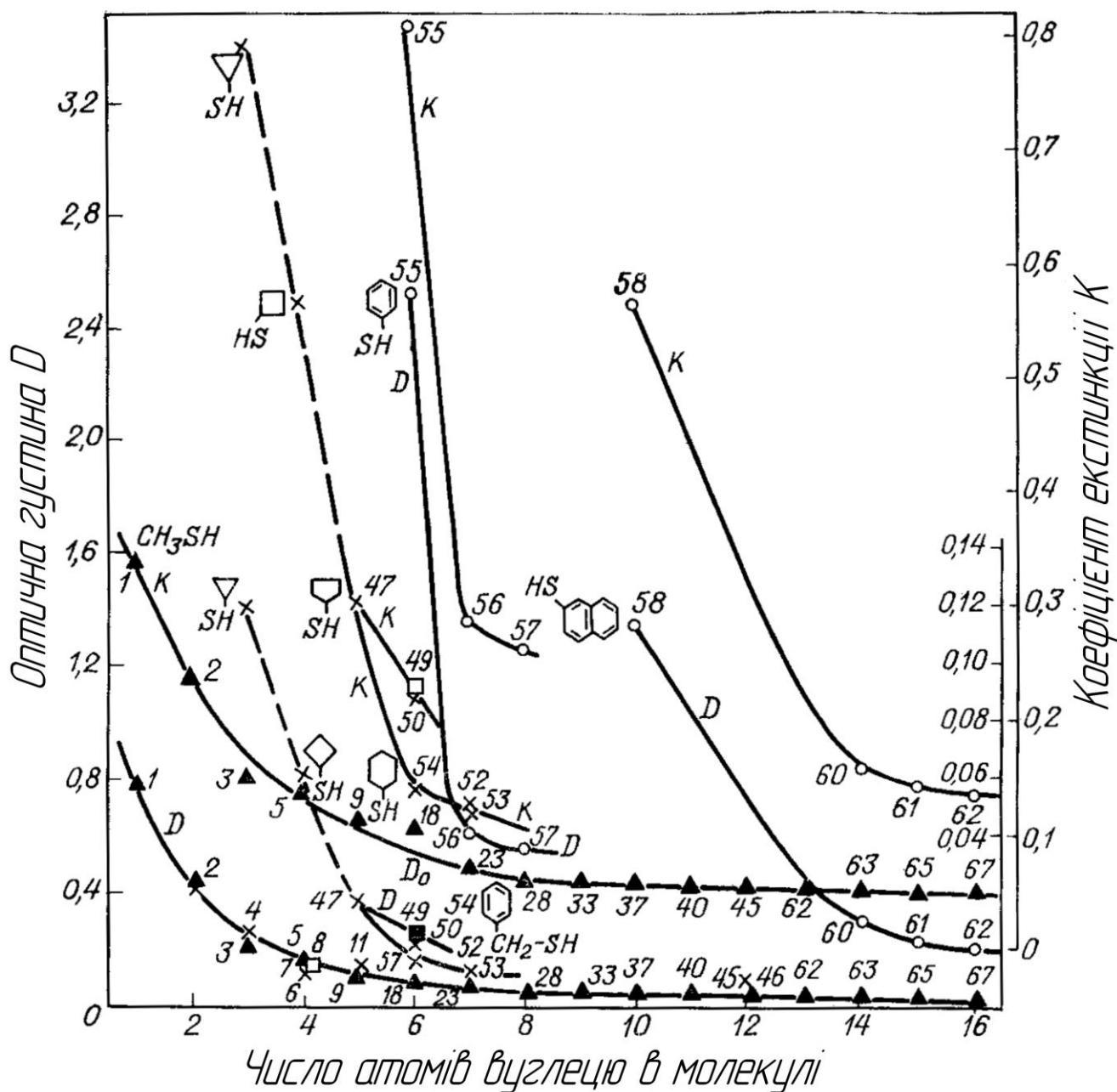


Рисунок 2.7 - Оптична густина та коефіцієнт екстинкції тіолів в області 2595-2538 см<sup>-1</sup>

Така ж закономірність спостерігається і для тіонафтола і його алкілгомологів, проте інтенсивність поглинання зв'язку S—H цих з'єднань менше (приблизно у 2 рази) в порівнянні з тіофенолом і його алкілгомологами.

Слід зазначити, що введення метиленової групи в тіофенол зменшує інтенсивність поглинання зв'язку S—H більш ніж в 5 разів (рисунок 2.7). Із

збільшенням кількості метиленових груп між атомом сірки і атомом вуглецю бензолового кільця інтенсивність поглинання зв'язку S—H все більш наближатиметься до інтенсивності поглинання аліфатичних тіолів.

Тіоли на відміну від спиртів, кислот і амінів утворюють слабкі водневі зв'язки. Частота поглинання S—H практично не змінюється в спектрах тіолів в рідкому, газоподібному стані а також в нейтральних розчинниках. Якщо розчинник має основні властивості, то частота поглинання істотно зменшується, що свідчить про збільшення енергії взаємодії функціональної групи розчинника з групою S—H тіол. Калориметрично певна енергія водневого зв'язку тіолів з полярними розчинниками не перевищує 6,28 кДж/моль.

Валентні коливання C—S тіолів, як відомо, виявляються у вигляді відносно слабкого поглинання в області 700—600  $\text{см}^{-1}$ . У дослідженні поглинання валентних коливань C—SH слід розглядати область 700—500  $\text{см}^{-1}$ .

В результаті вивчення характеристичного поглинання тіолів встановлено що зв'язки C—S первинних, вторинних і третичних аліфатичних насичених тіолів поглинають відповідно в областях 655—645, 625—615, 590—575  $\text{см}^{-1}$ . При збільшенні молекулярної маси тіолів від  $\text{C}_1$  до  $\text{C}_5$  відбувається суттєве зменшення частоти поглинання, яке для  $\text{C}_1$ — $\text{C}_5$ ,  $\text{C}_1$  —вт $\text{C}_5$  і  $\text{C}_1$  —трет  $\text{C}_5$  складає приблизно 60, 90 і 130  $\text{см}^{-1}$ . Слід зазначити цікаві закономірності поглинання зв'язків C—S в первинних тіолах (рисунок 2.6). Частота поглинання зв'язку C—S в тіолах нормальної будови із збільшенням молекулярної маси систематично зменшується приблизно до  $\text{C}_4$ , після цього збільшується до  $\text{C}_9$ , потім знову збільшується і зменшується. Найімовірніше, для тіолів ця закономірність буде прослідковуватись і далі. На жаль, відсутність тіолів нормальної будови з молекулярною масою більше 258 не дозволило провести ці дослідження. Слід зазначити також, що із збільшенням «розгалуженості» вуглецевого скелета первинних тіолів частота поглинання зв'язку C—S збільшується, і добре ілюструється тіолами  $\text{C}_5$ . Частота поглинання зв'язку C—

S ароматичних тіолів практично збігається з відповідною частотою вторинних тіолів.

Інтенсивності поглинання зв'язку C—S первинних, вторинних а також моноциклічних тіолів відносно невеликі і не суттєво розрізняються за значенням (рисунок 2.8).

Варто відзначити, що біля вторинних тіолів із зменшенням молекулярної маси інтенсивність смуги поглинання C—S збільшується в порівнянні з первинними тіолами, а біля третинних — стає значно більшою. Збільшується також і інтенсивність поглинання зв'язку C—S біля тіонафтолів у міру збільшення молекулярної маси і розгалуженості вуглеводневого заступника в сусідньому (по відношенню до тіогрупи) положенні, що свідчить про збудження зв'язку C—S внаслідок перерозподілу електронної щільності в молекулі. При інтерпретації зв'язку C—SH необхідно враховувати, що зв'язок C—S інших сіркоорганічних з'єднань поглинає в цій же області. Тому приведені результати повинні розглядатися комплексно з поглинанням тіолів в короткохвильовій області спектру.

Можливе поглинання зв'язку C—S в області  $600\text{—}400\text{ см}^{-1}$  має бути обговорене окремо. Поглинання тіолів нижче  $600\text{ см}^{-1}$  не досліджено. У цій області повинне виявлятися поглинання, обумовлене скелетними коливаннями вуглеводнів. Введення тіольної групи істотно впливає на характер скелетних коливань і відповідно на ІЧ-спектр (рисунок 2.9).

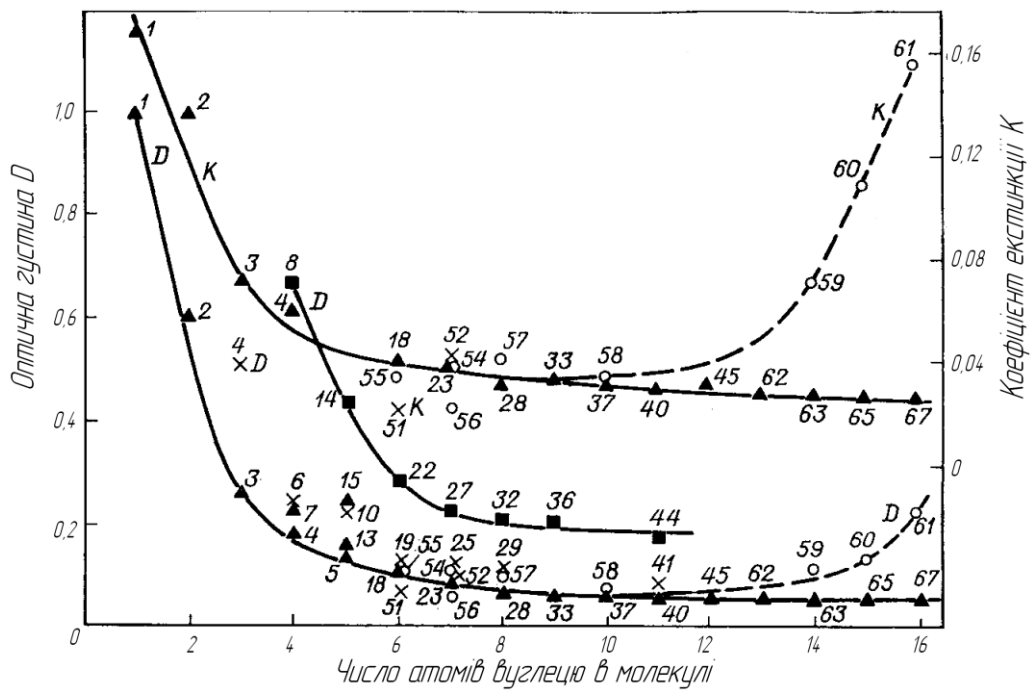
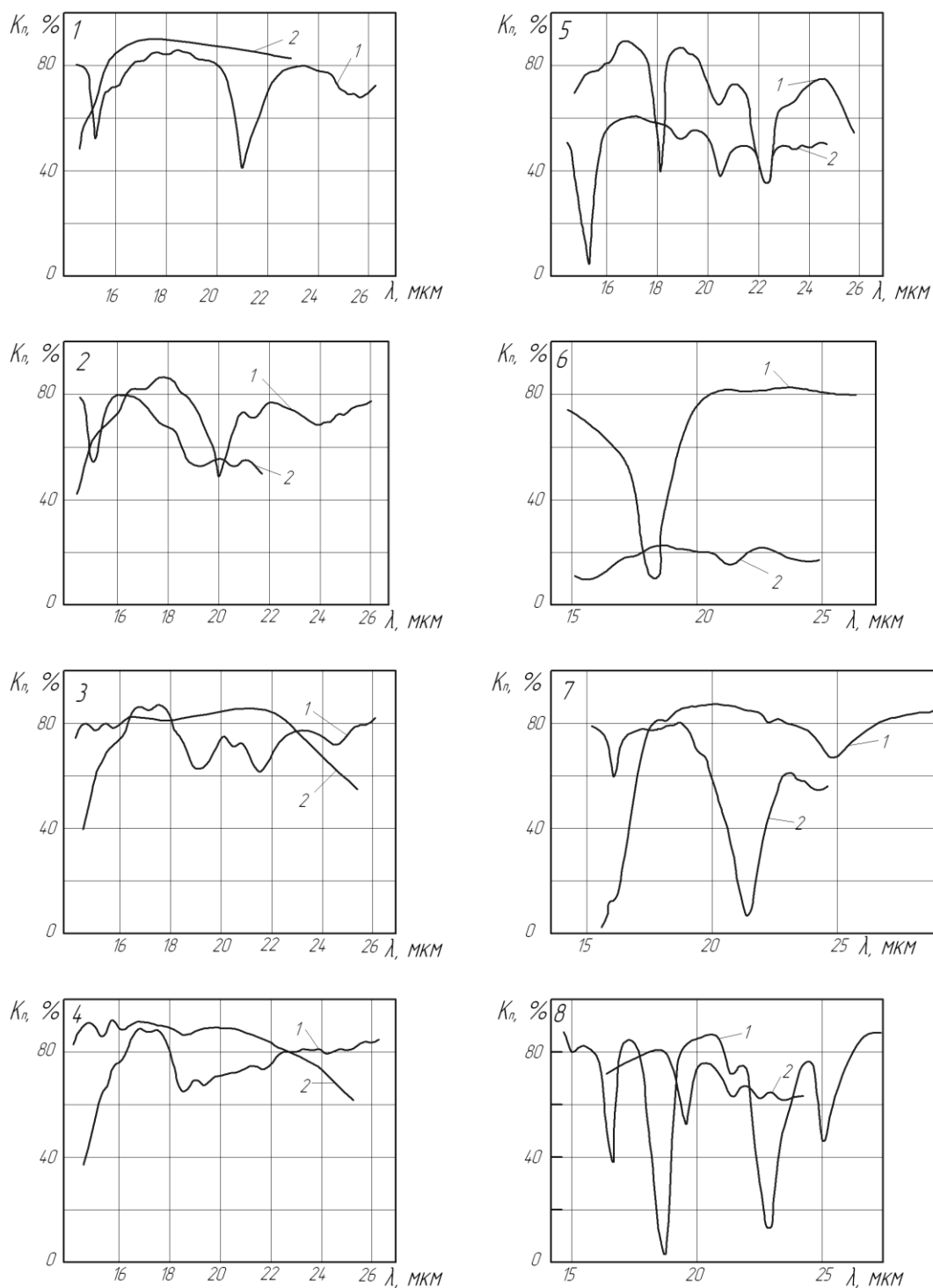


Рисунок 2.8 – Оптична густина та коефіцієнт екстинкції тіолів в області  $710-585 \text{ см}^{-1}$



1- н-пентан; н-гептан; н-декан; н-гексадекан; н-бутан; циклогексан;  
бензол; метил циклогексан

Рисунок 2.9 – Інфрачервоні спектри вуглеводнів і відповідні їм тіоли в довгохвильовій області

Головною особливістю цього впливу є значне ослаблення або повне усунення основних смуг поглинання скелетних коливань в даній області. Це

яскраво виявляється і в циклічних насичених тіолах до  $C_5$ . Наприклад, інтенсивне поглинання кільця циклопентана близько  $540\text{ см}^{-1}$  повністю зникає в циклопентантіолі. Вплив тіольної групи на менш напружені цикли позначається менше. У циклогексантіолі і метилциклогексантіолі смуга поглинання скелетних коливань залишається в цій же області, зрушуючись лише на 20—30  $\text{см}^{-1}$  у бік менших частот. Ці явища швидше всього пояснюються електроакцепторними властивостями вуглецю по відношенню до атомів сірки, які є донорами електронів. Внаслідок цього електронна структура вуглеводневого скелета розпушується і всі частоти зрушуються у бік менших значень. Це зрушення має бути особливо великим в низкомолекулярних аліфатичних і циклічних насичених тіолах (у метантіолі і циклопропантіолі). Відмічені особливості до ароматичних тіолівможуть і не відноситися із-за специфічної  $\pi$ -електронної структури ароматичних кілець. Повніші уявлення про це можна отримати після квантово-хімічних розрахунків ароматичних тіолів.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлені важливі особливості і закономірності поглинання зв'язків  $S-H$  і  $C-S$  тіолів, які можуть бути використані для ідентифікації і кількісного визначення насичених і ароматичних тіолів.

Даний метод дозволяє визначати октанове число бензину, вміст вологи та сірки. Для дослідження дизельного пального необхідно отримати компоненти, які входять до складу дизельного пального та провести розрахунок ІІФ для потрібних частот.

## 2.2 Розробка функціональної схеми приладу для контролю якості нафтопродуктів

На основі теоретичного обґрунтування прилад для контролю якості нафтопродуктів повинен працювати в інфрачервоній області, тому що в ній

розміщені смуги пропускання основних компонентів нафтопродуктів у спектрі поглинання.

Тому в першу чергу в розробленому приладі має бути джерело інфрачервоного випромінювання в якості якого найдоцільніше використати штифт Нернста (блок 4 на функціональній схемі). Оскільки штифт Нернста випромінює широкий діапазон інфрачервоного випромінювання, а кожна з компонентів пального має смугу пропускання на певній довжині хвилі  $\lambda_i$ , то для того щоб здійснювати контроль конкретної  $i$ -ї компоненти пального потрібно пропускати через пальне визначену довжину хвилі  $\lambda_i$ . Це можна реалізувати за допомогою набору інтерференційно-поляризованих фільтрів 8, які встановлені на диску 7, що обертається під дією крокового двигуна 3.

Досліджуване пальне 9 буде заливатися в пластикову кювету 10, яка має бути прозорою для інфрачервоного випромінювання. Пройшовши через кювету потік інфрачервоного випромінювання попадає на детектор інфрачервоного випромінювання 15. ЕРС, яку виробляє детектор підсилюється прицевійним підсилювачем постійного струму 16. Підсилений сигнал поступає на АЦП 18. Цифровий код із АЦП обробляється мікропроцесором 19. Результати вимірювань заносяться в блок запам'ятовування даних 20 і виводяться на цифровий індикатор 21.

Кроковий двигун 3 приводиться в дію блоком приводу 2 на який поступають чотирьох фазні імпульси від комутатора 5.

На комутатор 5 поступають імпульси через ключ 12 від генератора 13.

Для чіткої індикації номера світлофільтру на диску через, який в даний момент проходить інфрачервоне випромінювання з штифта Нернста на рідину 9 і на детектор ІЧВ 15. В диску перед світлофільтром №1 потрібно зробити додатковий отвір, який буде служити для спрацювання фотодіода 11 від світлодіоду 6. Сигнал із світло діоду 11 підсилиться блоком 14 і попаде на формувач імпульсів 17, який виробить керуючий імпульс, що поступить на мікропроцесор.

Після поступлення керуючого імпульсу блоку 17 мікропроцесор 19 відраховує 12 імпульсів із генератора 13, щоб диск 7 повернувся на такий кут при якому центр першого світлофільтра сумістився із віссю пучка інфрачервоного випромінювання. В цьому положенні мікропроцесор подає сигнал на закривання ключа 12, внаслідок цього кроковий двигун зупиниться на час вимірювання концентрації – і компоненти пального. Після проведення вимірювання концентрації першої компоненти пального на довжині хвилі  $\lambda_1$  результати виводяться на індикатор 21. Тоді мікропроцесор подає сигнал на ключ 12, який відкриється і знову пропустить імпульси з генератора на блок приводу 2, кроковий двигун 3 почне обертати диск 7, мікропроцесор відраховує 25 імпульсів і знову подасть команду на зупинку двигуна і в цей момент 2-й світлофільтр попадає на вісь пучка інфрачервоного випромінювання і почнеться вимірювання на довжині хвилі  $\lambda_2$ .

Цей процес буде продовжуватись доки не пройде вимірювання на 8-ми визначених довжинах хвиль, тобто для 8-ми компонентів пального.

Запам'ятовані результати можна заносити у персональний комп'ютер для збору, обробки та аналізу даних. Шляхом під'єднання вихідного з'єднувача приладу до вхідного порту ПК.

### 2.3 Розробка електричної принципової схеми приладу для контролю якості нафтопродуктів

Блок приводу крокового двигуна складається із генератора прямокутних імпульсів побудованого на двох комірках 2& DD7.3, DD7.4 та резисторі VT17. Регулювання частоти здійснюється резистором R38.

Імпульси із генератора після повторювача DD7.2 поступають на комірку DD7.1, яка є керованим ключем, що відкривається при подачі із мікропроцесора на вивід 13 логічної 1, як команди відкривання ключа. Із ключа DD7.1 імпульси поступають на 4-ох фазний розподільувач побудований на D-тригерах за кільцевою схемою із зворотнім зв'язком на елементі 4&HE (мікросхема DD3.1).

4-ох фазні імпульси з повторювачів DD1.1-DD1.4 поступають на ключі, побудовані за схемою Дарнлінгтона (схема загального транзистора) на транзисторах VT9-VT6. При почерговому відкриванні кожної пари транзисторів буде проходити струм.

Для отримання стабільної напруги +5В, яка живить мікропроцесор використовуємо інтегральний стабілізатор DA1 на мікросхемі KP142EH5A.

В якості джерела ГЧВ було вибрано штифт Нернста, який на схемі позначений як R10. Для коректної роботи штифта Нернста електричною принциповою схемою передбачені резистори R5 і R6. Резистор R6 здійснюватиме попередній підігрів штифта Нернста. В якості детектора інфрачервоного випромінювання вибрано фотодіод VD15 типу АЛ107Б. ЕРС, що буде збуджуватись на цьому детекторі постить на вхід прицезійного підсилювача.

Для отримання стабільної напруги ±15 В яка живить прицезійний підсилювач було вибрано компенсаційний стабілізатор напруги послідовного типу. В даного стабілізатора напруги високий ККД. Він може працювати при сильно змінюваному навантаженні. В наступному питанні здійснено розрахунок і вибір елементної бази даного блока живлення.

В якості прицезійного підсилювача було вибрано інструментальний підсилювач з високим коефіцієнтом подавлення синфазного вхідного сигналу. Резистори R27, R29, R30, R32, що входять до складу підсилювача повинні задовольняти відношення  $\frac{R_{30}}{R_{27}} = \frac{R_{32}}{R_{29}}$ . Сигнал, що поступає із фотодіода VD15 підсилюється цим підсилювачем і поступає на 2 вивід мікропроцесора. Після чого мікропроцесор обробляє сигнал.

Для керування роботою приладу ми вибрали мікропроцесор типу PIC16F877A. Даний мікропроцесор має вбудований АЦП, що спрощує електричну принципову та монтажну схеми. Зв'язок між мікроконтролером та цифро-аналоговим перетворювачем DD8 реалізований за допомогою цифрової шини I<sup>2</sup>S. Елементи R36, R37 забезпечують нормальну роботу цифро-

аналогово перетворювача DD8. Робоча частота контролера задається за допомогою ланки ZQ1, C9, C10, вона рівна 20 МГц. Зв'язок мікроконтролера та комп'ютера реалізовано за допомогою мікросхеми DD9, яка формує імпульси потрібної амплітуди для COM порта, по шині R<sub>x</sub>, T<sub>x</sub>. Елементи C11, C12, забезпечують нормальну роботу мікросхеми DD9. Виведення цифрової інформації та управління рідкокристалічним дисплеєм L-444GD реалізовано в програмі мікроконтролера та здійснюється через виводи 35-40, виводи 4 та 5 призначені для управління рідкокристалічним дисплеєм ИЖКЦ1-1/18. Кнопка SB2 здійснюватиме вивід попередніх результатів дослідження на рідкокристалічний дисплей.

#### 2.4 Розробка конструкції приладу для контролю якості нафтопродуктів

Конструкція приладу для контролю якості нафтопродуктів розроблена на основі функціональної та електричної принципової схем.

На передній панелі розробленого приладу розміщуємо органи керування даним приладом, а саме 3 перемикачі МТ-1, два кнопки типу КМ1-1. За допомогою вище названих елементів буде здійснюватись проведення контролю якості пального. Також на передній панелі розміщені блоки цифрової індикації, на які в процесі проведення дослідження будуть виводитись результати контролю. Перший індикатор відображатиме відсотковий вміст компоненти в досліджуваному нафтопродукті. Покази другого цифрового індикатора показуватимуть номер компоненти яка зараз досліджується. Для зручності при проведенні контролю бензину на передній панелі розташовано проботримача.

Проботримач призначений для розміщення та підтримування кювети з досліджуваним нафтопродуктом в середині приладу при проведенні дослідження. Проботримач складається із корпусу, панелі, до якої прикріплена ручка, піддона до якого прикручується панель із ручкою. В піддон вставляється заповнена нафтопродуктом кювета. Конструкція піддона забезпечує стійкість кювети при проведенні дослідження. Корпус проботримача кріпиться із

внутрішньої сторони приладу до передньої панелі розробленого приладу. В корпусі проботримача зроблено наскрізний отвір діаметром 10мм. В даний отвір із зовнішньої сторони вклеюється чорний пластик, який повинен пропускати інфрачервоне випромінювання. Всі деталі проботримача виконуються із сталі 3 і хромуються.

В якості джерела інфрачервоного випромінювання було вибрано штифт Нернста. Штифт Нернста виготовлений у вигляді циліндрика діаметром 3 мм і завдовжки 20 мм з оксидно-керамічної маси, що складається з оксидів цирконію і ітрію. До кінців циліндрика припаяно електроди з платиного дроту. Нагрівається штифт струмом, що проходить через нього. Оскільки штифт Нернста в холодному стані є діелектриком, то його заздалегідь розігрівають за допомогою спеціальної спіралі. При нагріванні до 400°C штифт стає провідником і під впливом струму, що проходить через нього, нагрівається до 2000 К. У діапазоні довжин хвиль, більших 7 мкм, випромінювач Нернста розглядаються як чорне тіло. Для зменшення втрат штифт поміщено в кожух, в якому вмонтовується вікно з матеріалу, прозорого для заданої області випромінювання. Кожух складається із кількох шарів, для зменшення тепловиділення.

Оскільки дослідження нафтопродукту повинні проходити на визначених довжинах хвиль інфрачервоного випромінювання, то після штифта Нернста, який випромінює широкий діапазон ІВЧ розміщено блок світлофільтрів. Він складається із круглого диску, в якому розташовано 8 інтерференційно-поляризованих фільтрів. Перевагою інтерференційно-поляризованих фільтрів є їх здатність до високого пропускання.

Фільтр являє собою набір поляризаторів і кристалічних пластинок, вирізаних паралельно оптичній осі (рисунок 2.10).

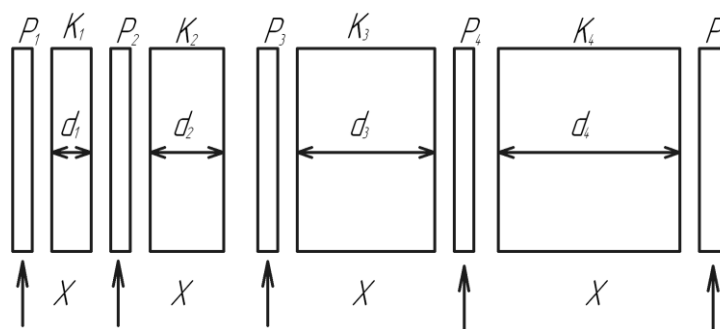


Рисунок 2.10 – Оптична схема ППФ

Всі поляризатори  $P_1, P_2, \dots$  орієнтовані паралельно один одному, а пластинки  $K_1, K_2, \dots$  знаходяться в діагональному положенні. Інакше кажучи, головні перерізи пластинок орієнтовані під  $45^\circ$  відносно площини коливань, що пропускаються поляризаторами. На рисунку 2.10 зображений фільтр, що складається з чотирьох ячеек. Товщина кристалічних пластинок  $K_1, K_2, \dots$  знаходяться в кратному співвідношенні. В наступному розділі приведено розрахунок ППФ. Також на краю світлофільтра зроблений отвір невеликого діаметру (2мм). Цей отвір призначений для спрацювання фотодіода від світлодіоду.

Для зміни світлофільтрів даний блок закріплений до крокового двигуна ДШИ-200-3. Який забезпечує прокручування блоку світлофільтрів під час проведення контролю якості нафтопродуктів. Кроковий двигун прикріплений у горизонтальному положенні до кронштейну за допомогою чотирьох болтів.

Кронштейн виготовлений із сталі і прикручується до нижньої частини корпусу розробленого приладу. В якості детектора ІЧВ використано світлофільтр, що встановлюється на кронштейні і розміщується з протилежної сторони кювети відносно штифта Нернста, так щоб випромінюване штифтом Нернста ІЧВ проходило через світлофільтр і кювету з досліджуваним бензином і потрапляло на даний детектор. Детектор, який фіксуватиме сигнал з фотодіоду складається з світлодіоду і розміщується на кронштейні внизу під проботримачем.

Дальше в глибині приладу розміщені на кронштейні електронні блоки, які між собою з'єднуються джгутом. Також в приладі є 2 трансформатори.

Для охолодження потужних кремнієвих транзисторів розраховано радіатора.

На задню панель виноситься з'днувач для сполученням із ПК, тримач запобіжника і шнур із вилкою для під'єднання до мережі 220В.

#### 2.4.1 Розрахунок вузла охолодження

Вхідні дані:

Транзистор КТ815А, що працює при температура навколишнього середовища  $t_p = 60^\circ C$  в умовах природного повітряного охолодження. Потужність розсіювання транзистора  $P = 4Вт$ , внутрішній тепловий опір  $R_{ен} = 2K/Вт$ , максимально припустима температура  $p-n$ -переходу  $t_{p-n} = 150^\circ C$ . Площа контакту транзистора з радіаторам  $S_k = 86,58 \cdot 10^{-6} м^2$ .

Розрахунок проводимо в наступному порядку:

1. Приймаємо робочу температуру  $p-n$ -переходу  $t_{p-n} = 140^\circ C$  і визначаємо допустимий перегрів контакту транзистора з радіатором:

$$t_k - t_p = (140 - 60) - 4 \left( 2 + \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{86,58 \cdot 10^{-6}} \right) = 62K$$

2. Визначаємо середній перегрів основи радіатора:

$$\Delta t_s = 0,83 \cdot 62 = 51,46K$$

3. Вибираємо голчасто-штирьовий радіатор з параметрами:

$$h = 15мм,$$

$$S_{ш} = 7мм,$$

$$d = 2мм.$$

4. Знаходимо коефіцієнт ефективної тепловіддачі вибраного радіатора при  $\Delta t_s = 51,46 K$ :

$$\alpha_{ef} = 49 B m / (m^2 \cdot K)$$

5. Визначаємо середній перегрів основи радіатора  $\Delta t_{s0}$  в другому наближенні. При цьому вибираємо як матеріал радіатора алюміній А7, у якого  $\lambda_p = 210 B m / m \cdot K$ , а товщину основи радіатора  $\delta_p = 2 m m$ .

$$S_p = \frac{P}{\alpha_{ef} \cdot \Delta t_s} = \frac{4}{49 \cdot 51,46} = 1,586 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$B = \frac{\alpha_{ef} \cdot S_p}{\lambda_p \cdot \delta_p} = \frac{49 \cdot 1,586 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 0,002} = 0,185$$

$$q = \sqrt{B \left[ 1,5 - \left( \frac{sh(2\sqrt{B})}{2\sqrt{B}} \right)^{-1} \right]} = \sqrt{0,185 \left[ 1,5 - \left( \frac{sh(2\sqrt{0,185})}{2\sqrt{0,185}} \right)^{-1} \right]} = 0,437$$

$$\begin{aligned} \Delta t_{s0} &= \frac{\Delta t_k S_k / S_p}{\left[ sh(q\sqrt{S_k / S_p}) ch^2 \frac{q}{2} / q - ch(q\sqrt{S_k / S_p}) + 1 \right]^2} = \\ &= \frac{62 \cdot 86,58 \cdot 10^{-6} / 1,586 \cdot 10^{-3}}{\left[ sh(0,437\sqrt{86,58 \cdot 10^{-6} / 1,586 \cdot 10^{-3}}) ch^2 \frac{0,437}{2} / 0,437 - ch(0,437\sqrt{86,58 \cdot 10^{-6} / 1,586 \cdot 10^{-3}}) + 1 \right]^2} = \\ &= 54,877 K \end{aligned}$$

6. Уточнюємо площу основи радіатора:

$$S_{p0} = \frac{P}{\alpha_{ef} \cdot \Delta t_{s0}} = \frac{4}{49 \cdot 54,877} = 1,488 \cdot 10^{-3} m^2$$

Отже, площа голчасто-штирбового радіатора для транзистора КТ815А становить  $1,5 \cdot 10^{-3} m^2$ .

#### 2.4.2 Розрахунок інтерференційно-поляризованого фільтру

В розробленому приладі потрібно встановити 8 інтерференційно-поляризованих фільтри (ІПФ). Кожний з яких пропускає тільки певну довжину хвилі ІЧВ, яка відповідає максимальному поглинанню певної компоненти нафтопродукту. Нижче приведений розрахунок ІПФ.

Перш ніж приступити до розрахунку ІПФ, необхідно знати, яка довжина хвилі буде для фільтру робочою, яка має бути ширина смуги пропускання і на якій відстані можуть знаходитися сусідні максимуми. В цьому випадку можна приступити до вибору матеріалів для кристалічних пластинок і розрахунку (числа ступенів, співвідношень товщини пластинок і ін.). Далі визначають допустимі температурні коливання.

ІПФ можуть, виготовлятися з кристалічного кварцу і ісландського шпату. Подвійне променезаломлення ісландського шпату для  $\lambda = 656,28$  нм  $\mu = n_e - n_o = 0,169$  при  $19^\circ\text{C}$ , для кристалічного кварцу  $\mu = 0,009$ .

Нехай потрібно отримати ширину пропускання  $2\delta\lambda = 0,06$  нм для вказаної довжини хвилі. Товщина кварцової пластинки в цьому випадку для останнього ступеня мала б бути 380 мм. Це практично неможливо зробити. Тому в цьому випадку краще всього взяти пластинку з ісландського шпату. За інших рівних умов її товщина буде становити 20 мм. А для забезпечення досить великої величини  $\Delta\lambda$  (наприклад, 65 нм) при використанні ісландського шпату товщину першої пластинки слід узяти рівною 0,04 мм. Але також практично не реально.

Для першої кристалічної пластинки придатний кварц; товщина пластинки з кварцу дорівнюватиме 0,7 мм, що цілком здійснено.

Важливим є питання, з якого номера ступеня слід переходити від кварцу до ісландського шпату. Тут відіграють роль не лише технологічні обмеження, але і різні температурні коефіцієнти подвійного променезаломлення кварцу і ісландського шпату. Для кристалічного кварцу поблизу лінії  $H_a$  зсув максимуму складає 0,08 нм на  $1^\circ\text{C}$ , а для ісландського шпату 0,04 нм на  $1^\circ\text{C}$ .

Якщо ІПФ виконаний з різних кристалів, то внаслідок зміни температури від розрахункової відбудеться його зміна. Заданося можливим значенням зміни між кварцовою і шпатовою частинами фільтру, рівним 0,1 відстаней між сусідніми максимумами останнього ступеня фільтру (кварцова пластина). Хай температура фільтру мінється в межах  $\pm 10$  °С від розрахованої. Тоді зсув максимумів для кварцового і шпатового ступенівскладе  $\pm 0,4$  нм. Звідси витікає, що відстань між сусідніми максимумами останнього кварцового ступеня має бути рівною 4 нм. Порядок інтерференції  $k$ , в якому повинен працювати цей ступінь для  $\lambda = 656,3$  нм дорівнює 178. Отже, товщина пластини останнього ступеня складає 11,5 мм.

Максимум пропускання може бути центрований па будь-яку довжину хвилі шляхом зміни додаткової різниці фаз  $2\pi\varepsilon_i$  тих пір, поки всі  $k_i + \varepsilon_i$  не стануть цілими. Величина  $\varepsilon_i$ , - повинна змінюватись в інтервалі від -0,5 до +0,5.

## 2.5 Розробка методики проведення контролю якості нафтопродуктів

Включаємо прилад за допомогою відповідного перемикача на передній панелі інструментів. Висуваємо проботримач та дістаємо з нього порожню пластикову кювету. Перевіряємо стан кювети. При необхідності очищаємо її від бруду чи інших по сторонніх об'єктів. Кювета повинна бути сухою, без залишків іншого нафтопродукту чи речовин за допомогою яких здійснювалось очищення кювети. При необхідності промиваємо кювету спочатку очищеним бензином, потім розчином поверхнево-активних речовин. Після того промиваємо проточною водою, тоді споліскуємо дистильованою водою і сушимо. Після цього заповнюємо кювету досліджуваним нафтопродуктом. Заповнення проводиться акуратно, так щоб не розлити нафтопродукт на зовнішню сторону кювети. Після заповнення вставляємо її у піддон проботримача та засуваємо проботримач у початкове положення. Перед початком дослідження потрібно нагріти штифт Нернста. Ця операція

здійснюється за допомогою перемикача «Нагрів» і займає 10-15 хвилин. Після цього необхідно вибрати режим дослідження.

В даному приладі є два режими дослідження: ручне та автоматичне. Дані режими вибираються за допомогою відповідного перемикача на передній панелі приладу. В автоматичному режимі проведенням дослідження керує мікропроцесор, виводячи на блоки індикації оброблені результати вимірювань. В ручному режимі дослідження нафтопродукту можна вибирати складові контролю та їх кількість.

В даному розробленому приладі можливий контроль бензину за 8 компонентами, а саме:

- н-пентан;
- н-гептан;
- н-декан;
- н-гексадекан;
- н-бутан;
- циклогексан;
- бензол;
- метилциклогексан.

Кожна із вище перерахованих компонент входить в склад бензину в різному кількісному співвідношенні. Отже вибираючи ручний режим дослідження можна здійснювати контроль бензину тільки на певні компоненти, якщо при певних обставинах це стало потрібно.

Вибравши потрібний режим натискаємо перемикач «Пуск». Після натискання на вище згадуваний перемикач починається процес дослідження нафтопродукту. Цей процес триватиме декілька хвилин.

В цей час ми будемо бачити на індикаторі 2 номер компоненти, що досліджується. А на індикаторі 1 буде відображатись % вміст даної компоненти в бензині. Покази на індикаторах будуть змінюватись із зміною компоненти. Тобто коли прокрутився блок світлофільтрів на наступну компоненту на

індикаторі 2 зміниться номер компоненти, а на індикаторі 1 відобразиться відсотковий вміст компоненти в досліджуваному бензині.

Отримані результати дослідження під час виводу на індикатори 1 та 2 зберігаються в пам'яті приладу. За допомогою кнопки «Пам'ять» можна здійснити перегляд результатів дослідження. При натисканні на дану кнопку на індикаторах 1 та 2 відображаються результати останнього дослідження 1-ї компоненти. При кожному наступному натисканні на індикаторах буде змінюватись компонента. При натисканні 9 разів ми вийдемо з програм перегляду результатів дослідження.

Отримавши результати дослідження вимикаємо нагрів штифта Нернста та вимикаємо прилад. Після цього висуваємо проботримач і витягуємо з нього кювету із досліджуваним нафтопродуктом. Нафтопродукт із кювети видаляємо. Кювету очищаємо від залишків нафтопродукту на стінках. Чисту і суху кювету встановлюємо в піддон і закриваємо проботримач.

## 3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

### 3.1 Загальний аналіз видів похибок

Забезпечення високої точності вимірювань — важке завдання, і вирішення його належить сфері метрологічного забезпечення. Дослідника, чи технолога цікавить в кінцевому результаті похибка отриманих ними результатів вимірювання. Проте ця похибка складається з багатьох складових. Різновидність прояву похибок та причин їх виявлення викликало необхідність поділу цих складових на певні типи.

Похибка результату вимірювань — це відхилення результатів вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

Аналізуючи причини виникнення похибок, необхідно в першу чергу виділити ті з них, які суттєво впливають на результат вимірювання.

В залежності від форми вираження розрізняють абсолютну і відносну похибки. Абсолютною називають похибку, яка показує на скільки результат вимірювання відрізняється від істинного значення вимірюваної величини [19].

Тобто:

$$\Delta = A - X_{ict} \quad (3.1)$$

де  $\Delta$  — абсолютна похибка вимірювань;

$A$  - результат вимірювання;

$X_{ict}$  - істинне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка виражається в тих же одиницях, що й вимірювальна величина.

Відносна похибка вимірювань представляє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Відносну похибку визначають в процентах за формулою:

$$\delta = \frac{A - X_{icm}}{X_{icm}} \cdot 100 = \frac{\Delta}{X_{icm}} \quad (3.2)$$

До похибок засобів вимірювання належать інструментальні похибки, методичні похибки.

Інструментальні похибки є в кожному засобі вимірювань, вони можуть бути визначені при його випробуваннях і занесені в паспорт на цей засіб.

Методичні похибки - це такі похибки, які пов'язані з вибраним методом вимірювань даної величини.

В залежності від умов і режимів вимірювання розрізняють статичну і динамічну похибки засобу вимірювання. Статичною називають похибку, яка не залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Статична похибка засобу вимірювання виникає при зміні за його допомогою постійної величини.

Динамічною називають похибку, яка залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Виникнення динамічної похибки зумовлене інерційністю елементів вимірювальної ланки засобу вимірювання, тобто тим, що перетворення в вимірювальній ланці не відбуваються миттєво, а потребують певного часу.

Динамічною похибкою засобу вимірювання є різниця між похибкою засобу вимірювання в динамічних умовах та його статичною похибкою, яка відповідає значенню величини в даний момент часу.

В залежності від характеру виявлення, можливості усунення і причин виникнення розрізняють систематичну та випадкову похибки. Систематичною називають складову похибки вимірювань, яка є постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Причинами виникнення систематичної складової похибки вимірювань (систематичних похибок) є: відхилення параметрів реального засобу вимірювання від розрахованих значень передбачених схемою; нерівноваженість певних деталей засобу вимірювання відносно їх осі обертання, яке призводить до додаткового обертання за рахунок зазорів, що є в механізмі; похибка градування або

деякий зсув шкали; знос робочих поверхонь деталей засобу вимірювання; старіння деталей; несправність засобу вимірювання і т. д. Ззовні систематичну похибку неможливо виявити. Виявити її можна тільки при повірці шляхом порівняння робочих засобів вимірювання з зразковими.

Випадковою називають складову похибки, яка змінюється випадково при повторному вимірюванні однієї і тієї ж величини. Випадкова похибка виникає при одночасній дії багатьох джерел, кожне з яких саме по собі непомітно впливає на результат вимірювань, а сумарний вплив всіх джерел може бути достатньо великим, тобто це така похибка, яка не може бути передбачена ні по знаку ні по величині.

Поряд з систематичною та випадковою похибками існує ще і прогресуюча похибка. Прогресуюча похибка змінюється в часі і ця зміна залежить від зміни характеристик окремих елементів засобу вимірювання.

Систематичне відхилення експериментальних даних від вибраної характеристики засобу вимірювання називають похибкою адекватності.

Проте є також і похибка градуювання, яка залежить від тих похибок взірцевих засобів вимірювання за допомогою яких здійснювалося експериментальне градуювання робочого засобу вимірювання.

Похибки засобу вимірювань, які залежать від величини вхідного сигналу називаються мультиплікативними, а ті що не залежать - адитивними.

Похибка квантування характерна для цифрових засобів вимірювання, яка виникає при наявності дискретних перетворювачів.

Похибка квантування  $\Delta_k$  є методичною похибкою самого виміру. Похибка від квантування рівна різниці між результатом виміру без попереднього перетворення величини сигналу  $x_N$  і дійсним значенням величини сигналу  $X$ :

$$\Delta_k = x_N - X \quad (3.3)$$

Похибка від квантування  $\Delta_k$  по характеру зміни може бути систематичною і випадковою.

### 3.2 Аналіз похибок приладу для контролю якості нафтопродуктів

Точність контролю якості нафтопродуктів за допомогою оптичного методу визначається похибкою, обумовленою (як і в будь-якому приладі непрямого вимірювання) методичною, систематичною, інструментальною і випадковою складовими.

Систематична похибка закладена в похибці при оцифруванні інфрачервоних спектрів пропускання компонентів бензину, оскільки сучасна техніка хоч знаходиться на досить високому рівні і дозволяє забезпечити досить велику точність оцифрування, але використовувані нами засоби своїми власними похибками будуть впливати на результуючу систематичну похибку. Систематичну похибку можна визначити вимірюванням зразкового бензину.

Також слід зазначити, що систематична похибка буде ще визначатись похибкою приймаючого детектора. Цю похибку можна мінімізувати вибравши точний детектор. В якості детектора є фотодіод. І чим більш точніший фотодіод буде обрано, тим менший вплив він матиме на результати вимірювання.

Випадкова похибка буде залежати від температури, відносної вологості та чистоти кювети. Також випадкова похибка буде залежати від дотримання методики проведення контролю, оскільки при не виконанні цієї методики нафтопродукти будуть змінювати свій склад, що призведе до невірних результатів вимірювання. Коливання напруги мережі впливає на штифт Нернста і на потік ІЧВ.

Інструментальна похибка повністю визначається якістю підсилювального і вимірювального блоків приладу для контролю якості нафтопродуктів. На неї впливають такі характеристики, як частота смуги пропускання підсилювача, лінійність і стабільність вимірювача часових інтервалів, число розрядів в цифровому індикаторі і т.п. Сучасний рівень електроніки дозволяє звести інструментальну похибку до десятих і сотих доль відсотка, що дає можливість практично не враховувати її при оцінці сумарної

похибки приладу.

До складу методичної похибки входить декілька складових. Дана похибка буде мати місце при отриманні графіка поглинання для кожної компоненти, оскільки дані графіки визначатимуться експериментальним методом, який міститиме певну похибку. Закон Бугера згідно формули 2.19 матиме методичну похибку. Оскільки існують певні відхилення від формули. Із вище описаного можна зробити висновок, що методичну похибку можна мінімізувати шляхом проведення точних експериментальних дослідження на спектрофотометрі.

### 3.3 Розрахунок сумарної похибки приладу для контролю якості нафтопродуктів

Електронний блок, а саме інструментальний підсилювач розробленого приладу для контролю якості нафтопродуктів здійснює найбільший вплив на сумарну похибку всього приладу, і необхідно здійснити розрахунок сумарної похибки цього блоку.

Здійсню розрахунок сумарної похибки по блоку прецизійного підсилювача, а значення похибок інших блоків візьму стандартні [18].

Для розрахунку сумарної похибки необхідно перейти до СКВ кожної складової  $\sigma_i$ . Для цього визначаємо абсолютну похибку по напрузі кожного елемента за формулою:

$$\Delta_{U_i} = \frac{\delta_i U_{\text{ном.і.}}}{100} . \quad (3.4)$$

В таблиці 3.1 вписані всі елементи блоку прецизійного підсилювача, їх номінали і відхилення від номінального значення  $\gamma_i$  або відносні похибки  $\delta_i$ . Також в даній таблиці наведені результати розрахунків за формулою (3.4).

Переходимо до СКВ  $\sigma_i$ , кожного елемента через коефіцієнт Стюдента  $z$ , вважаючи, що розподіл похибок всіх елементів є нормальним, для якого  $z = 1,96$ :

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{z} . \quad (3.5)$$

Результати розрахунків за формулою (3.5) приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Значення елементів електричного блоку

Позначення елемента	Номинал	$\delta, \%$	$U_{номі.}, В$	$\Delta_i, В$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
R14	135 Ом	0.1	15	0,015
R24	10 кОм	0.1	15	0,015
R25	10 кОм	0.1	15	0,015
R27	22 кОм	0.1	15	0,015
R29	22 кОм	0.1	15	0,015
R30	10 кОм	0.1	51	0,015
R32	10 кОм	0.1	15	0,015
VD15		1.3	15	0,195
DA2		1.5	15	0,225
DA3		1.5	15	0,225
DA4		1.5	15	0,225

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку СКВ кожного елемента

Позначення елемента	$\sigma_i$
R14	0,00765
R24	0,00765
R25	0,00765
R27	0,00765
R29	0,00765
R30	0,00765
R32	0,00765
VD15	0,1
DA2	0,115

DA3	0,115
DA4	0,115

Просумуємо СКВ:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum \sigma_i^2} \quad (3.6)$$

Знайдемо за формулою (3.6) суми СКВ для різних елементів:

$$\sum \sigma_{Ri}^2 = 0.00287$$

$$\sum \sigma_{VDi}^2 = 0.01$$

$$\sum \sigma_{DAi}^2 = 0.119$$

Отже, остаточно, за (3.6) отримуємо:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{0.00287 + 0.01 + 0.119} = 0.363$$

Обчислимо сумарну абсолютну похибку:

$$\Delta_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma} \cdot z, \quad (3.7)$$

де  $z$  коефіцієнт Стюдента для НЗР згідно з центральною граничною теоремою теорії ймовірності, яка стверджує, що розподіл випадкових величин (похибок) буде близьким до нормального кожний раз, коли результати спостережень формуються під впливом великої кількості незалежно діючих факторів, кожний із яких лише незначно впливає на результат в порівнянні із сумарною дією всіх інших факторів [20].

Отже, за (3.7) отримуємо:

$$\Delta_{\Sigma} = 0.363 \cdot 1.96 = 0.71$$

Обчислимо сумарну відносну похибку:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{вих.ном}}} \cdot 100 = \frac{0,71}{220} 100 = 0,32\%$$

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища

В процесі праці людина вступає у взаємодію з предметами праці, знаряддям праці, іншими людьми. Крім того на неї діють різні параметри виробничої обстановки, в якій протікає процес праці (температура, вологість, рухливість повітря, шум, вібрація, шкідливі речовини, різні випромінювання і т.д.). Від умов праці у великій мірі залежить здоров'я і працездатність людини, її відношення до праці і результати праці. При несприятливих умовах різко знижується продуктивність праці і складаються передумови для виникнення травм і професійних захворювань.

Розглянемо розроблену систему з точки зору впливу на навколишнє середовище, а також проведемо оцінку можливості запобігання шкідливим проявам, які виникають в результаті експлуатації такої системи. Перш за все доцільно відмітити фактори навколишнього середовища, які безпосередньо впливають на організм людини.

Аналіз потенційно-небезпечних факторів на виробництві приведені в таблиці 4.1.

Таблиці 4.1 – Аналіз потенційно-небезпечних факторів на виробництві

Джерело небезпек приладу для контролю якості нафтопродуктів	Характеристика потенційно-небезпечних виробничих факторів
1. Електричний струм	$U=220\text{ В}; I=1,5\text{ А}; f=50\text{ Гц}.$ Можливість ураження електричним струмом. Нормоване значення $I_{CH}\leq 0,1\text{ А}.$

2. Електростатичне поле	<p>Напруженість електростатичного поля: 15кВ/м.</p> <p>Можливий головний біль.</p> <p>Допустима напруженість поля 60 кВ/м.</p>
3. Шум	<p>Підвищений рівень звукового тиску</p> <p><math>L_M=100</math> дБ, <math>f_{cr}=60</math>Гц, ГДР: <math>L_M=120</math> дБ, <math>f_{cr}=86</math>Гц.</p>
4. Випромінювання ЕОМ	<p>- рентгенівське (діапазон понад 1,2 КеВ, фактичні (середні) дані замірів 9-11-13 мкр/г, нормовані значення 75,0 мкр/г);</p> <p>- інфрачервоне (діапазон 700нм-1мм, фактичні (середні) дані замірів 0,05-4,0 мкр/г, допустима інтенсивність: 100 Вт/м<sup>2</sup>).</p> <p>Рентгенівське випромінювання шкідливо впливає на кісткові тканини і кровотворні функції кісткового мозку, інфрачервоне - на зір, втомлюючи очі, при тривалій дії порушує нормальне сприйняття оком кольору.</p>

В процесі роботи використовуються токсичні та шкідливі речовини які наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика шкідливих речовин, які використовуються в процесі роботи

Назва шкідливої речовини	Технологічний процес, в якому використовується шкідлива речовина	ГДК шкідливої речовини, мг/м <sup>3</sup>		Дія на організм, перша допомога
		В робочій зоні	В атмосфері населеного пункту	
1. Бензини (А76 –А98)	При дослідженні бензину	100	2	Випари токсично діють на організм людини. Свіже повітря, спокій, тепло, каплі валерянки.

#### 4.2 Забезпечення нормальних умов праці

Метрологічні умови і інші фактори, які визначають стан повітря робочої зони встановлюються у відповідності з нормами технологічного проектування, у затвердженому і встановленому порядку.

Нормальні кліматичні умови— сполука параметрів мікроклімату, які при довготривалому і систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального функціонального і теплового стану організму без порушень реакції терморегуляції.

Параметри, які визначають метрологічні умови, для нормальної роботи працівників, їх самопочуття і здоров'я наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3— Оптимальні значення метрологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень

Характеристи ка приміщень	Категорія робіт	Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Лабораторія	Легка Іа	х.	22-24	40-60	0,1
		т.	23-25		
АЗС	Середня Ііа	х.	18-20	40-60	0,2
		т.	20-22		0,3

Вентиляція має визначне значення для забезпечення нормальної роботи, мікроклімату і чистоти робочої зони, по способу подачі в приміщення свіжого повітря її поділяють на природну, механічну і комбіновану.

Механічна вентиляція, яка складається із вентиляторів і повітропроводів, забезпечує підтримування постійного повітрообміну.

Витічна система вентиляції видаляє забруднене і перегріте повітря. Притічно-витічна вентиляція містить поєднання двох: притісної і витічної. Місцева вентиляція забезпечує вентиляцію безпосередньо у робочому місці.

У виробничих приміщеннях встановлюють також аварійну вентиляцію. Аварійна вентиляція виконується лише витічною, щоб створити в приміщенні розрідження. Аварійна система вступає тільки при відключенні робочої вентиляції та при раптовому поступанні в повітря виробничого приміщення вибухонебезпечних речовин.

Характеристика штучної вентиляції приведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4— Характеристика штучної вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну
Лабораторія	Витічна	Осьовий вентилятор ОС-6/50-1	3
АЗС	Притічно-витічна	Відцентровий вентилятор Ц-4-70	6

Нормальна зорова робота передбачає створення на робочих місцях освітлення згідно санітарних норм і правил або відомчих нормативів. Для створення нормальної зорової роботи встановлюється значення мінімального освітлення згідно СНиП II-4-4-79 "Строительные нормы и правила естественного и искусственного освещения" та відомчих нормативів.

В таблиці 4.5 приведена характеристика штучної освітленості робочих місць.

Таблиця 4.5 – Характеристика штучної освітленості робочих місць

Робочі місця	Розряд зорової роботи	Штучне освітлення, Лк		Тип світильника
		Робочі поверхня по СНиП	Фактичне освітлення	
1.Лабораторія	I г	400	300	ВЗР-200АМ
2. АЗС	VIII	75	75	ЛДОР
3. Гардеробна	VI	60	50	ЛДОР

Обробка результатів проводиться у лабораторії. Робоче місце повинно бути таким, щоб упродовж дня користувач мав змогу змінювати своє положення. В загальному випадку, робоче місце повинно забезпечувати можливість займати наступні два крайні положення. Перше - з випрямленою спиною, екран монітора повинен знаходитися нижче рівня очей під кутом близько 20° при відстані від екрану до очей 50 см. Друге положення, відкинувшись, при цьому центр екрану знаходиться нижче рівня очей. В цих двох положеннях клавіатура та маніпулятор "миша" повинні бути розміщені так, щоб за ними не тягнулися руки при роботі. Ці вимоги можливо задовольнити використанням крісла з відкидною спинкою із регулюванням висоти.

Пофарбовані у світлі кольори меблі приміщення і великих вікон є додатковими джерелами світла. У занадто світлому помешканні погано видно букви і цифри на екрані монітора. Це викликає головну біль, погіршення зору, зниження концентрації, а також призводить до помилок у роботі через некоректне сприйняття інформації.

Існує ряд правил, які необхідно виконувати для забезпечення нормальної працездатності упродовж усього робочого дня.

Для зменшення зорового навантаження рекомендується примусове часте моргання, відволікання уваги через визначені проміжки часу на інший об'єкт, скорочення тривалості зорової роботи за рахунок виготовлення твердих копій документів та роботи вже з ними.

Жінки з моменту встановлення вагітності до роботи не допускаються.

При роботі на комп'ютері необхідно додержуватися трудової та виробничої дисципліни, виконувати тільки ту роботу, по якій проведено інструктаж, не допускати присутності на робочому місці сторонніх людей, вміти подати першу допомогу потерпілому на виробництві.

Площа одного робочого місця з комп'ютером повинна складати не менше 6,0 кв. м, кабінет повинен мати систему опалення, кондиціонування повітря.

Робоче положення комп'ютера повинно бути розташоване не менш як 0,8 м від столу до стіни з вікнами. Відстань між робочими столами повинна бути не менше 1,2 м. Не допускається знаходження іншого робочого місця зі сторони задньої стінки комп'ютера.

Висота робочої поверхні столу повинна регулюватися у межах 680-800 мм, клавіатуру слід розташовувати на поверхні стола на відстані 100-300 мм від краю до користувача.

У приміщенні слід здійснювати наскрізну вентиляцію для поліпшення якісного складу повітря.

Основний потік світла повинен бути зліва, не допускається його наявність праворуч, ззаду чи спереду працюючого на комп'ютері. Заборонено застосовувати для вікон чорні штори.

Для якісного зображення на екрані необхідно мати у розпорядженні монітор, що підтримує область екрану не менше 1024x768 точок, діагональ не менше 17 дюймів, краще 19, 21 дюйм. Це забезпечить користувачу бачення досить великої ділянки "поля", при цьому елементи зображення можуть бути досить великими.

Для того, щоб зір користувача при цьому не стомлювався, зображення на екрані не повинно мерехтіти, тому монітор у цьому режимі повинен мати частоту кадрової синхронізації не менше 75 Гц.

Екран монітора - це джерело світла. Тому необхідно організувати освітлення та розташувати його так, щоб у полі зору користувача не було інших яскравих джерел світла, а також освітленість екрану не збільшувалась за рахунок будь-якого стороннього джерела світла, наприклад лампи на стелі або сонячного світла.

Рентгенівське випромінювання шкідливо впливає на кісткові тканини і кровотворні функції кісткового мозку, інфрачервоне - на зір, втомлюючи очі, при тривалій дії порушує нормальне сприйняття оком кольору.

При закритому кожусі системного блоку джерела шуму на робочому місці користувача ЕОМ - це працюючий принтер. Рівень шуму залежить від типу принтера і для матричного складає приблизно 35-40 дБ (в залежності від моделі принтера), що перевищує межу допустимого рівня, значення якого 40 дБ, у лазерних та струйних принтерах шумність значно нижче.

Підвищений рівень шуму викликає труднощі у розпізнаванні кольорових сигналів, знижує швидкість сприйняття, гостроту зору, зорову адаптацію, порушує сприйняття візуальної інформації, знижує спроможність швидко і чітко виконувати координовані дії, зменшує на 5-10% продуктивність праці. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму з рівнем звукового тиску 90 Дб знижує продуктивність праці на 30-60 %. Медичні обстеження інженерів-системотехніків показали, що крім зниження продуктивності праці високі рівні шуму призводять до стомлення, погіршення слуху. Крім того, при загальній дії підвищений рівень шуму викликає порушення ритму серцевої діяльності, зміну кров'яного тиску, погіршення органів дихання.

Частина енергії, що сприймається оком як світло, називається світловим потоком  $P$  [люмен]. Сила світла (1) - визначається як відношення світлового потоку до тілесного кута, у котрому рівномірно поширюється цей світловий потік. Вимірюється сила світла в канделах ( $[Кд]=[лм] / [срад]$ ).

Освітленість (E) - поверхнева щільність світлового потоку, люкс [лк]:  $E = \frac{F}{S}$

де  $S$  - площа [м<sup>2</sup>].

Штучне освітлення виробничих помешкань буває:

- загальне;
- комбіноване;
- аварійне.

Крім штучного в помешканні є також природне освітлення з вікон.

#### 4.3 Розрахунок природної освітленості лабораторії

Для освітлення приміщення в якому обробляються дані, використовується змішане освітлення, тобто суміш природного та штучного освітлення.

Природне освітлення - створюється через вікна в зовнішніх стінах будівлі.

Розрахунок бокового природнього освітлення для лабораторії, дані якої вказані у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Дані виробничого приміщення

Пояс світлового клімату	Розряд зорової роботи	Розмір приміщення (АхВ)м <sup>2</sup>	Висота від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна,	Середній коефіцієнт відбиття,
III	V	6*5	2,4	0,5

Керуючись таблицею **СНиП-П-4-79**, визначаємо нормоване значення коефіцієнта природної освітленості  $i'''$  для III класу світлового клімату.

КПО:  $l_H''' = 1,5\%$  [СНиП П-4-79, табл1. ст.5]

Оскільки за умовою задачі у нас III пояс світлового клімату, то перерахунок  $l_H$  робити не треба.

Визначаємо величини відношення глибини приміщення В до висоти від рівня поверхні до верху вікна  $h$ , і довжини приміщення А до його глибини В.

$$\frac{B}{h} = 2,1; \quad \frac{A}{B} = 1,2$$

За таблицею 26 СНиП-П-4-79 [стор.34] визначаємо значення світлової характеристики світлових прийомів:

$$\eta_B = 12$$

Визначаємо за таблицею 30 СНиП П-4-79 значення коефіцієнта  $r_1$ , враховує підвищення КПО, завдяки світлу відбитому від поверхонь

приміщення. Розрахункову точку розмістити на віддалі 1м від стіни приміщення, протилежної стінки світлових проїомів.

Відстань розрахункової точки до зовнішньої стіни:

$$l = B - 1 = 5 - 1 = 4 \text{ м з табл.30 СНиП II-4-79 стор.36 для:}$$

$$\frac{B}{h_1} = 2,1; \quad \frac{l}{B} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ при } \rho_{cp} = 0,5 \text{ і } \frac{A}{B} = 1,2$$

$$r_1 = 2,6$$

Визначаємо площу світлових проїомів необхідну для забезпечення нормованого значення

$l_H$  в розрахунковій точці, за формулою:

$$S = \frac{S_n \eta_0 l K_3 K_B}{100 \tau_0 r_1}, \text{ де}$$

$S_n$  - площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup>;

$\eta_0$  - світлова характеристика вікна;

$l_H$  - нормоване значення КІТО;

$K_3$  - коефіцієнт запасу ( $K_3 = 1,2 \div 2$ );

$K_B$  - коефіцієнт, що враховує затемнення вікон, протилежними будівлями, приймаємо  $K_B = 1$ ;

$\tau_0$  - загальний коефіцієнт світлопропускання світлових променів, приймаємо  $\tau_0 = 0,38$ ;

$r_1$  - коефіцієнт, що враховує відбиття світла від поверхонь приміщення;

$$S = \frac{30 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1}{100 \cdot 38 \cdot 2,6} = \frac{648}{98,8} = 6,6$$

По розрахунковій площі світлових прийомів визначаємо їх розмір і число при висоті вікна 1,75 м і ширині 1,5 м.

$$\text{Площа вікна: } S_B = 1,75 \cdot 1,5 = 2,63 \text{ м}^2$$

$$\text{Число вікон: } n = \frac{S_0}{S_B} = \frac{6,6}{2,63} = 2,5 = 3 \text{ вікна.}$$

При розміщенні вікон тільки на одній стороні (довшій) при сумарній довжині всіх вікон:

$l=1,5 \cdot 3=4,5\text{м}$  (що більше  $A=6\text{м}$ ). Отже наш розрахунок вірний.

Тобто для природного освітлення лабораторії розміром 6м на 5м потрібно встановити в ній 3 вікна розміром 1,75м на 1,5м кожне.

#### 4.4 Пожежна безпека

Горючими речовинами для горіння в момент виникнення пожеж та вибухів є газ, конденсат, інгібітори, нафтопродукти які поступають в атмосферу при утічках через негерметичні з'єднання. Окислювачем служить кисень повітря, а джерелом запалювання - відкритий вогонь, іскри від електрообладнання, іскри при неправильному користуванні інструментом або при використанні іскробезпечного інструменту, застосування електрообладнання та джерел освітлення у невибухонебезпечному виконанні, при курінні в заборонених місцях. Тому головна вимога протипожежного захисту - суворе та неухильне дотримання привал техніки безпеки на об'єктах газової промисловості, в тому числі і на пунктах відліку газу і конденсату.

Причинами пожежі можуть бути:

1. Порушення технологічних процесів виробництва.
2. Недотримання вимог нормативних документів.
3. Несправність обладнання і неякісний його ремонт.
4. Невідповідність обладнання категорії виробництва.
5. Порушення протипожежного режиму, виробничої і трудової дисципліни.

В табл. 4.7 наведено перелік категорій робочих приміщень по вибухо і пожежо небезпеці.

Таблиця 4.7 - Класифікація робочих приміщення по вибухо і пожежонебезпеці.

Назва приміщень	Категорія виробництва	Класифікація приміщень по вибухонебезпеці	Характеристика приміщень	Категорія суміші	Група суміші	Умовне позначення електрообладнання
Лабораторія	А	В-ІІ	ІІ-ІА	ІІ А	ТЗ	СТД-12500-2
АЗС	Д	В-ІІа	ІІ-ІІІ	ІІ А	ТЗ	АДТ-500

В табл. 4.8 наведено перелік пожежо-небезпечних речовин, які використовуються у технологічних процесах.

Таблиця 4.8 - Характеристика пожежо та вибухонебезпечних речовин.

Речовина	Температура, °С		Межі вибуху, % по об'єму	
	Спалаху	Самозагорання	Концентраційний об'єм, %	Температура, °С
Бензини (А76 – А98)	-39	255	0,75	39

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

1. Утримувати виробничі об'єкти в чистоті і систематично очищати їх від відходів під проведення досліджень.
2. Всі горючі і легкозаймисті речовини та матеріали зберігати у спеціально відведених місцях.
3. При прийомі особи на роботу її слід ознайомити з правилами техніки безпеки.
4. По кожному об'єкту на виробництві повинен бути розроблений оперативний план дій при пожежі.

Для гасіння пожеж застосовують як ручні засоби, так і махенізовані. До ручних приладів відноситься гідропульпи-відра, гідропульпи-костилі, ручні пожежні насоси, різні вогнегасники.

Для отримання піни служать пересувні та стаціонарні апарати, які поділяються на дві категорії: періодичні і безперервної дії (механізовані засоби). До апаратів періодичної дії відносяться піногони, а безперервної дії піногенератори типу ПГ-25, ПГ-50 та ПГ-100.

На території лабораторії чи АЗС повинні бути щити з протипожежним інвентарем (відра, лопата, лом, вогнегасники, ящики з піском). Крім того, на цих об'єктах повинна бути організована безвідмовна пожежна сигналізація та пожежний водопровід з гідратами.

Для швидкого виявлення пожеж існує система попередження про пожежу і електропожежна сигналізація, радіо і телефонний зв'язок.

## ВИСНОВКИ

В першому розділі бакалаврської роботи проаналізовано всі існуючі на даний момент методи контролю якості бензині. Вказані їхні позитивні та негативні сторони.

В бакалаврській роботі було теоретично обґрунтовано можливість контролю якості пального оптичним методом. Оцифровано графік n-гептану компонентів бензину для проведення дослідження якості нафтопродукту. Наведено графіки і інших компонентів бензину.

Також було розроблено функціональну та електричну схеми даного приладу. Для оброблення результатів використано мікропроцесор типу PIC16.

Рзроблено конструкцію приладу для контролю якості нафтопродуктів та електронного та механічного вузлів приладу. Здійснено розрахунок вузла охолодження та інтерференційно-поляризованого фільтру.

Також було розроблено методику проведення контролю якості бензинів.

У третьому розділі здійснено метрологічний аналіз спроектованого приладу. Проаналізовано види похибок, які присутні при проведенні контролю якості нафтопродукту. Здійснено розрахунок сумарної похибки спроектованого приладу.

У четвертому розділі розроблено заходи з охорони праці і безпеки життєдіяльності, здійснено розрахунок природної освітленості лабораторії.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 8737:2017 "Паливо для двигунів.
2. Окоча А.І., Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали / А.І. Окоча, Я.Ю. Білоконь.-К.: Укр. Центр духовної культури, 2004. – 448 с.
3. Антипенко Р.І. Практикум з паливно-мастильних та інших експлуатаційних матеріалів: навч. Посіб./ Антипенко А.М, Сорокін С.П., Поляшенко С.О. – Харків, 2006. – 212 с.
4. Заславський Р.І. Практикум з паливно-мастильних та інших експлуатаційних матеріалів: навч. посіб./ Заславський Р.І., Миронюк О.С., Ковалишин С.Й. – Львів: Українські технології, 2005. – 243 с.
5. Кучерук І. М. Загальний курс фізики : у 3 т. : навч. посіб. для студ. техн. і пед. спец. ВНЗ / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук ; за ред. І. М. Кучерука. — 2-ге вид., випр. — Київ : Техніка, 2006. - Т. 3. Оптика. Квантова фізика: — 520 с.: іл.
6. Курс загальної фізики : підруч. для студ. ВНЗ : у 6 т. / ОНУ ім. І.І. Мечникова; за заг. ред. В. А. Сминтина. – Одеса : Астропринт, 2011. - Т.4 : Оптика / В. А. Сминтина, Ю. Ф. Ваксман. – 2012. – 275 с.
7. Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові данні. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.
8. Квітка С.О., Яковлев В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка та мікросхемотехніка / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – Суми : 2012. – 350 с.
9. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122 с.

10. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань[Текст]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів /І.С. Кісіль.– Івано-Франківськ.: Факел, 2002. – 400с.– ISBN 966-7327-80-9.
11. Кривенко Г.М. Електронний курс "Основи охорони праці", сертифікат електронного курсу № 000177 від 30.06.2021
12. Кривенко Г. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я. Охорона праці: практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 205 с.
13. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів: За ред.. Геврика Є.О. – Львів, 2000.
14. Журавльов Ю.М., Пеньков А.О. Пристрої приймання та обробки сигналів: навчальний посібник.–К. : Вид-во Національного авіаційного університету «НАУ-друк»,2019.–200 с.
15. Бойко В.І., Гуржій А.М. та інші. Схемотехніка електронних систем. К.: Вища школа, 2004.
16. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник. — Львів: Афіша, 2001