

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою вимірювання розмірів і
концентрації часток в розчині»

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛТЗп-19
(шифр групи)

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Сотников Павло Сергійович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник _____ проф. кафедри ЕТ, д.т.н., проф. _____ Анатолій ЗОРІ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент _____ доц. каф. ЕЛІн, к.ф.-м.н., доц. _____ Олена ЛЮБИМЕНКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.*

_____ Олександр ВОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра _____

Тема: «Розробка електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТзп – 19

Павло СОТНИКОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Анатолій ЗОРІ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Іван ЛАКТІОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« ____ » _____ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Сотников Павло Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині

керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.04.2022 року № 163

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Зорі А.А.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3.1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3.2, 3.3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів і засобів вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині		
2	Розробка принципу вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині		
3	Розробка апаратно-програмних засобів пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ **Павло СОТНИКОВ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Анатолій ЗОРІ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Сотников, П.С. Розробка електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 57 стор., 19 рис., 2 табл., 17 посилань.

Виконано аналіз теоретичних, методичних і апаратних питань щодо визначення розмірів і концентрації частинок у середовищах, які є штучно створеними, зі застосуванням гідродинамічного методу, що мають анізотропні оптичні властивості, що стало базою для розробки електронного пристрою вимірювального контролю параметрів розчинів. Розроблений конструктив вимірювальної комірки для визначення низьких концентрацій частинок. На базі запропонованого старт-стопового режиму роботи розроблено алгоритм фільтрації результатів вимірювання. Розроблено електронний вимірювальний пристрій для визначення розмірів і концентрації частинок на базі гідродинамічної орієнтації в потоці. Розглянуто питання щодо проектування вимірювальної комірки та базових функціональних вузлів електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації частинок, що дозволило реалізувати підключення та з'єднання різних складових блоків електронного пристрою. Систематизовано область використання електронного пристрою та його програмної компоненти. До переваг розробленого електронного пристрою можна віднести відсутність процедури підготовки проби, незначний вплив процедури вимірювання на частинки, доволі широкий діапазон вимірюваних значень концентрації частинок, можливість здійснювати накопичення результатів вимірювання, що обумовлює конкурентні переваги цього вимірювача у порівнянні з аналогами, які застосовуються для таких типів вимірювальних процедур.

Ключові слова: вимірювання, концентрація, частинка, оптичний потік, комірка, лазер, фотоприймач, мікроконтролер, конструкція, алгоритм.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ.....	9
2 РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ.....	22
2.1 Спосіб вимірювання параметрів часток в потоці розчину.....	22
2.2 Визначення ступеню орієнтації часток в потоці.....	26
3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ....	35
3.1 Розробка вимірювальної комірки.....	35
3.2 Розробка структури електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині.....	43
3.3 Розробка програмного забезпечення вимірювального пристрою.....	46
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	51

ВСТУП

Вимірювання геометричних розмірів та концентрації мікроскопічних частинок є однією з розповсюджених типів вимірювань під час розв'язання наукових і прикладних завдань у медицині, біотехнології, мікробіології, екологічних дослідженнях, а також під час виробництва композитів і фарб. Так, під час досліджень у мікробіології визначається розмір клітин, що є одним із базових класифікаційних ознак [1]. Градієнт зміни абсолютного значення розміру клітин під час протікання біотехнологічних процесів є одним з показників, що визначає відтворюваність та якість цих процесів. Вимірювальний контроль концентрації частинок у технологічній воді, що є відпрацьованою під час виробничого процесу, дозволяє визначити збільшення порогового значення та виконувати фільтраційні заходи щодо знезараження. Здійснення селективного вилучення зі суспензій клітин та визначенням їх наднизьких значень концентрації дозволяє розв'язувати як наукові, так і прикладні завдання біологічної безпеки. Якісний склад композитних матеріалів пов'язаний з абсолютною величиною геометричних розмірів частинок, а також їх полідисперсного складу.

Переважає більшість прикладних завдань щодо вимірювання геометричних розмірів і концентрації частинок зв'язано з виконанням з аналізом їх у вигляді суспензій. Як середовище, що підтримує частки, може виступати вода, розчини з культивованими мікроорганізмами, живильне середовище, розчини, що мають різні сполуки, олії, органічні речовини. Аналіз частинок в аерозолі здійснюється зазвичай після їх розміщення в середовищах, що підтримують таких, як вода, гліцерин, силіконове масло та ін.

Вимірювальний контроль параметрів і характеристик частинок, що є суспендованими, застосовується в фізичній хімії. Для цих частинок має місце процеси агрегації та седиментації, а також електростатичної взаємодії та виникнення поверхневих властивостей матеріалів [2, 3]. Проявлення

зазначених явищ істотно ускладнює методики здійснення вимірювального контролю. Для зменшення впливу цих явищ потрібно прикладання додаткових зусиль під час проведення експериментальних досліджень, що пов'язано зі здійсненням попередньої фільтрації зразків, додавання хімічно активних речовин та ін. [4]. Для отримання високих метрологічних характеристик під час вимірювання додатково застосовується статистична обробка результатів вимірювання, накопичення результатів, виключення випадків перевищення значень за результатами визначених достовірних даних та зменшення шумової складової вихідного сигналу вимірювального перетворювача [5].

Завданням випускної кваліфікаційної роботи є розробка електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині та форми кривої розподілення геометричних розмірів часток. Під час апаратної реалізації електронного пристрою необхідно обґрунтувати та розробити конструкцію вимірювального перетворювача сенсора.

Під час практичної реалізації електронного пристрою необхідно обґрунтуванням метрологічних характеристик і параметрів робочого засобу вимірювання. Програмна компонента верхнього рівня повинна забезпечувати процедуру вимірювання, обробку результатів експериментальних досліджень, зберігання вимірювальних значень та формування та виведення протоколів результатів досліджень.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ

Вимірювання геометрії суспендованих частинок є однією з розповсюджених завдань під час наукових та практичних досліджень. Методи, що застосовуються під час розв'язання цих завдань, розділяють на прямі та непрямі. До прямих методів відносять методи прямого оптичного вимірювання геометричних розмірів частинок.

Класичні методи мікроскопії [6] базуються на прямому вимірюванні геометричних розмірів завдяки визначенню меж частинки, розрахунку їх площі попереченого перетину частинок. У теперішній час найбільшого розповсюдження отримав імідж (image) метод аналізу, у якому здійснюється обробка зображення частинок. Зображення частинок отримують за допомогою фотоматриць. Роздільна здатність фотоматриць завдяки покращенню технології виготовлення збільшується, тому у теперішній час застосовується стандартом, який регламентує застосування матриць, що мають роздільну здатність від 10 до 14 мегапікселів. Для здійснення обробки зображень застосовується такі програмні продукти, як AbleImageAnalyzer та Image Analyse. Такі прикладні програми можуть працювати з об'єктами, які мають стандартний формат *.jpg або *.bmp. Оптико-електронні пристрої для image analyse мають в своєму складі блок розведення та подачі аналізованої проби, блок реєстрації фотографічного зображення та програмну компоненту для визначення геометричних розмірів, форми, а також концентрації частинок. Зазначені пристрою виготовляються доволі великою кількістю компаній. Найбільшого розповсюдження отримали аналізатори для здійснення біотехнологічних вимірювань від компаній Canon та Nova.

Фізичне обмеження за показниками точності вимірювання накладається на визначення геометрії частинок завдяки виникненню дифракції в контурі, що має істотні обмеження на визначення мінімальних розмірів частинок [7]. Ще

одним обмеженням є невисоке значення статистичної достовірності результатів вимірювання низької концентрації зважених частинок. До недоліку зазначеного методу можна віднести те, що вимірюються геометричні розміри проекції клітини, а не їх істинні значення, також на результат вимірювання істотний вплив має рух клітин. Клітини, що мають хаотичну орієнтацію, захоплюються фотооб'єктивом у деякому обсязі, тому реальна значення відповідає розподіленню Релея для проекції.

Одним із шляхів збільшення показників точності результатів вимірювання є застосування транспондерів. Процедура вимірювання здійснюється в ультрафіолетовій ділянці спектру. Потім отримане зображення трансформується до видимої частини спектрального діапазону, де й здійснюється обробка.

До прямих методів вимірювання геометричних розмірів частинок відносять проточні типи аналізаторів. У цих пристроях має місце гідродинамічне фокусування частинок під час їх послідовного проходження через точки фокусування оптичного випромінювання від лазера, як наведено на рис 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема проточного вимірювального пристрою розмірів і концентрації частинок зі застосуванням лазерної ідентифікації

У деяких випадках до частинок прикріплюються мітки, які фіксуються завдяки електростатичній силі під час афінних взаємодій або ковалентного зв'язування. Інтенсивність віддзеркалювання оптичного випромінювання від міток є параметром, що визначає розміри частинки. До недоліку зазначеної групи методів можна віднести необхідність здійснення попередньої підготовки проби, а також складність оптичного блоку вимірювального пристрою. Зазначені проточні електронні пристрою виготовляються компаніями Beckman, Shimadzu, TermoFisher та ін.

Величину похибки вимірювання можна істотно зменшити зі застосуванням рентгенівської мікроскопії. Потік електронів, що проходить через середовище з частинки, має набагато менше значення довжини хвилі, ніж у видимому діапазоні спектру або ультрафіолетовому випромінюванні. Під час застосування рентгенівських хвиль вплив дифракції істотно зменшується, тому точність результату вимірювання підвищується. Електронні пристрою зазначеного типу застосовуються в переважній більшості для наукових задач.

Підготовка проби частинок до електронної мікроскопії є доволі трудомісткою. Отже, для зазначені методи та засоби застосовуються зазвичай для наукових дослідженнях [8]. За допомогою оптичного методу, що базується на двопрменевої проточної мікрофотометрії, визначається форма та часове положення імпульсів, що обумовлено зміною ослаблення розсіювання оптичного випромінювання від частинок, що рухаються. Завдяки наявності гідродинамічної орієнтації потоку частинки підтримуються в ньому та проходять через точки, де знаходяться два лазери. У способі застосовуються фотометричні характеристики оптичного випромінювання від лазерів, тому це випромінювання фокусується до плями, геометрія якої порівняно дорівнює розміру частинок. Потоки оптичного випромінювання застосовуються для визначення зміни його, а також для визначення швидкості руху цих частинок. Розмір частинок вимірюється за допомогою визначення тривалості імпульсу в першому оптичному потоці від лазера, а за допомогою другого лазера визначається швидкість руху часток.

Фотометричні методи, які базуються на вимірюванні значення інтенсивності під час розсіювання світла широко застосовуються для визначення розмірів частинок. Застосовується як мале кутове розсіювання назад, так і розсіювання під кутом 90° [9]. Також може здійснюватися вимірювання індикатриси розсіювання під час дії різних кутів. Залежність визначення розмірів за зміною інтенсивності оптичного потоку випромінювання під час розсіювання під кутом 0° назад наведено на рис. 1.2.

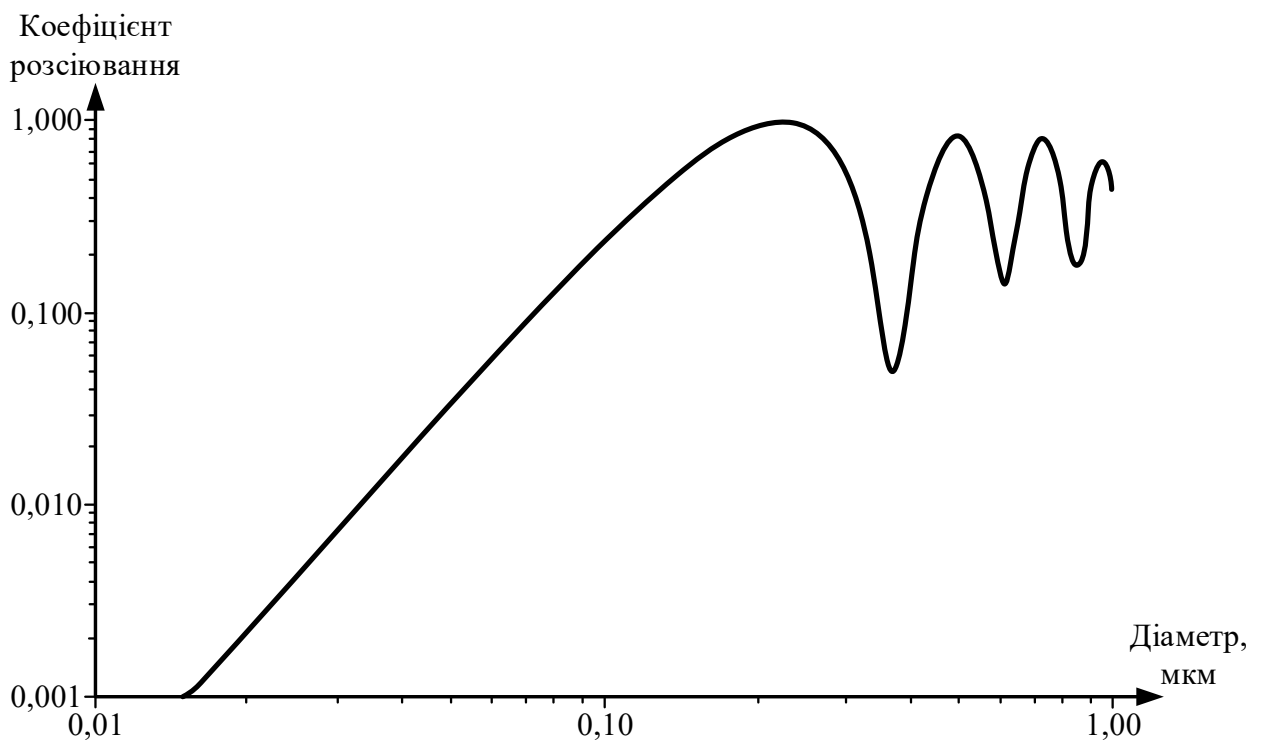


Рисунок 1.2 – Зміна величини інтенсивності розсіювання оптичного випромінювання частками від їх розмірів

З аналізу графічної залежності можна зробити висновок, що визначення розмірів частинок є досить ефективно в діапазоні від 20 до 200 нм. У мікронному діапазоні інтенсивність розсіювання оптичного випромінювання має осцилюючий характер. Залежність, що наведено на рис. 1.2 показує теоретичну модель розсіювання оптичного випромінювання. Визначення геометричних розмірів за величиною інтенсивності оптичного випромінювання в Релеївській області виконується за теорією Релеєвського розсіювання. У цій

області величина інтенсивності оптичного випромінювання є прямо пропорційною від квадрату розміру частинки. Вимірювання розмірів за величиною інтенсивності розсіювання випромінювання в діапазоні від 1 до 10 мкм здійснюється за теорії Релея-Дебая-Ганса або аномальної дифракції.

Вимірювання геометричних розмірів частинок у діапазоні більш ніж 10 мкм здійснюється за допомогою теорії Мі для сферичних часток. На рис. 1.3 наведено розподіл розмірів частинок, що одержано за допомогою вимірювання інтенсивності оптичного випромінювання.

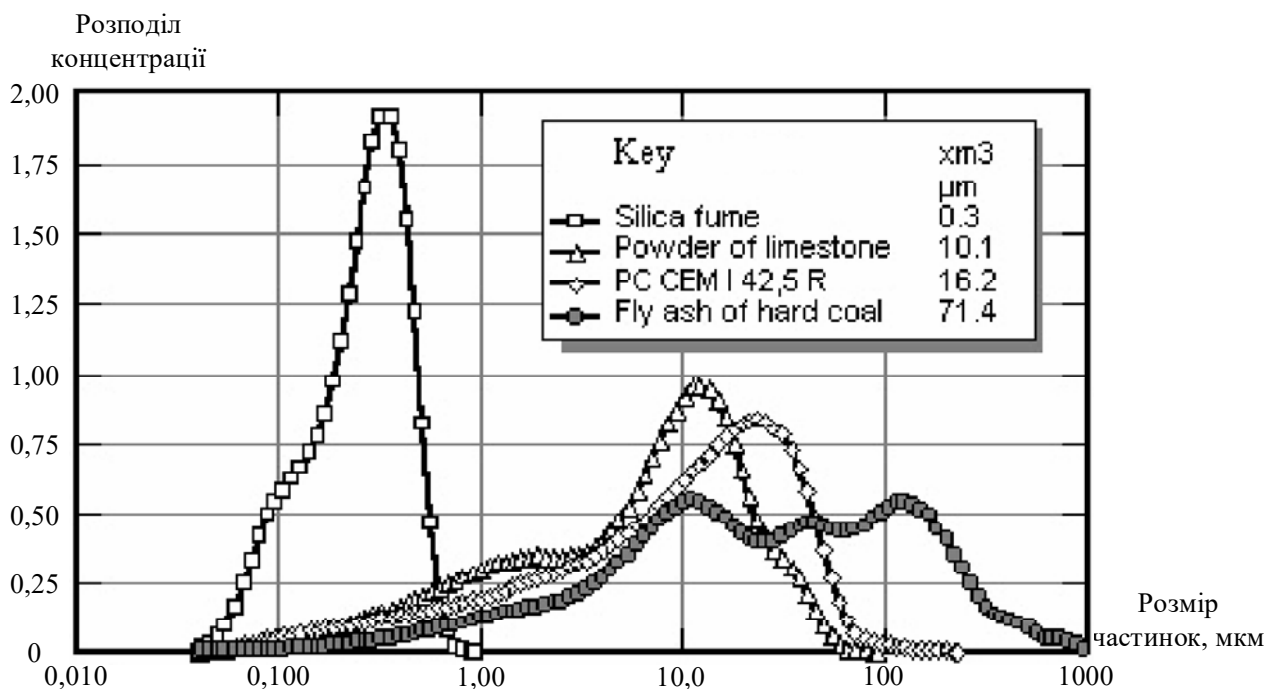


Рисунок 1.3 – Розподіл розмірів частинок цементу, полімеру та ін., що одержано за допомогою вимірювання інтенсивності оптичного випромінювання пристроєм типу COULTER LS 230

Визначення геометричних розмірів частинок можна здійснити за аналізом форми індикатрис розсіювання. Форма індикатрис розсіювання визначається розміром та орієнтацією частинок [10 – 12]. Визначення розмірів частинок здійснюється за інтенсивністю розсіювання оптичного випромінювання з малим кутом вперед. Схему реалізації зазначеного методу вимірювання, що застосовується в пристроях компанії Metrix Inc., наведено на рис. 1.4.

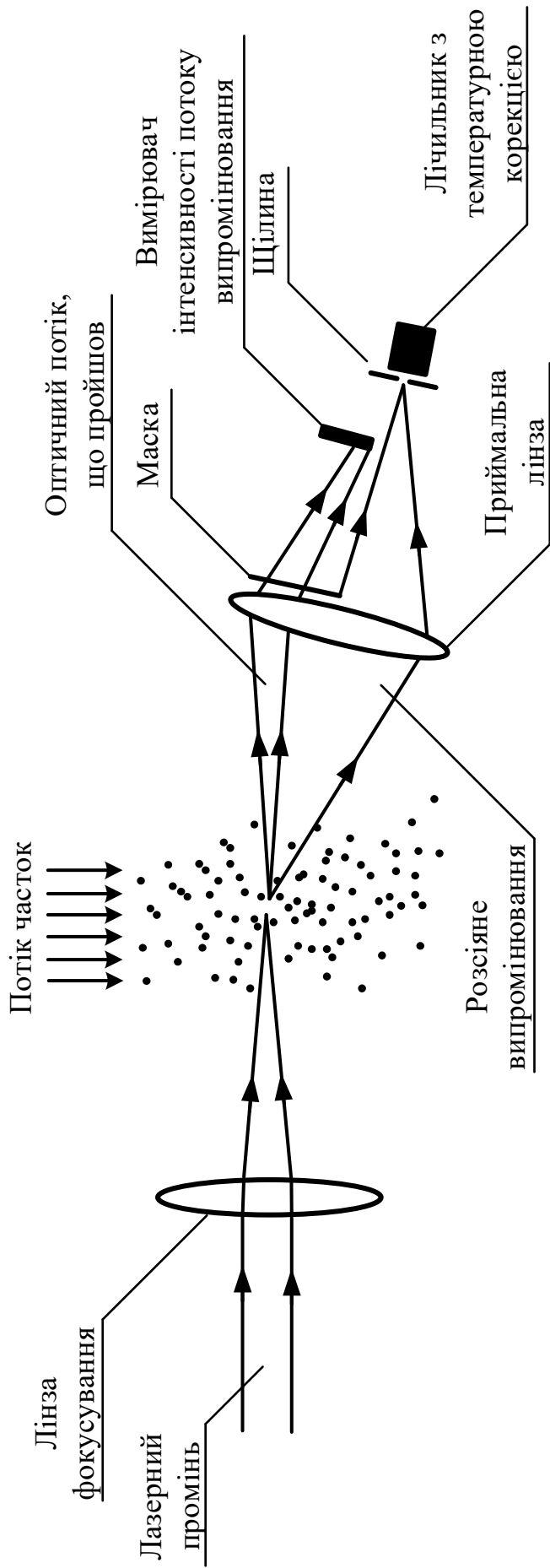


Рисунок 1.4 – Спосіб вимірювання розмірів часток за показником розсіювання вперед з малим кутом

На рис. 1.5 наведено результати вимірювання розмірів часток зі застосуванням пристрою компанії Metrix Inc. З аналізу наведеної залежності можна зробити висновок, що незалежно від показники розсіювання оптичного випромінювання можна виділити три області: квазілінійна з розміром часток від 1 до 2 мкм, область розмірів часток до (15 – 20) мкм та з осцилюючим характером з частками, які мають великі розміри.

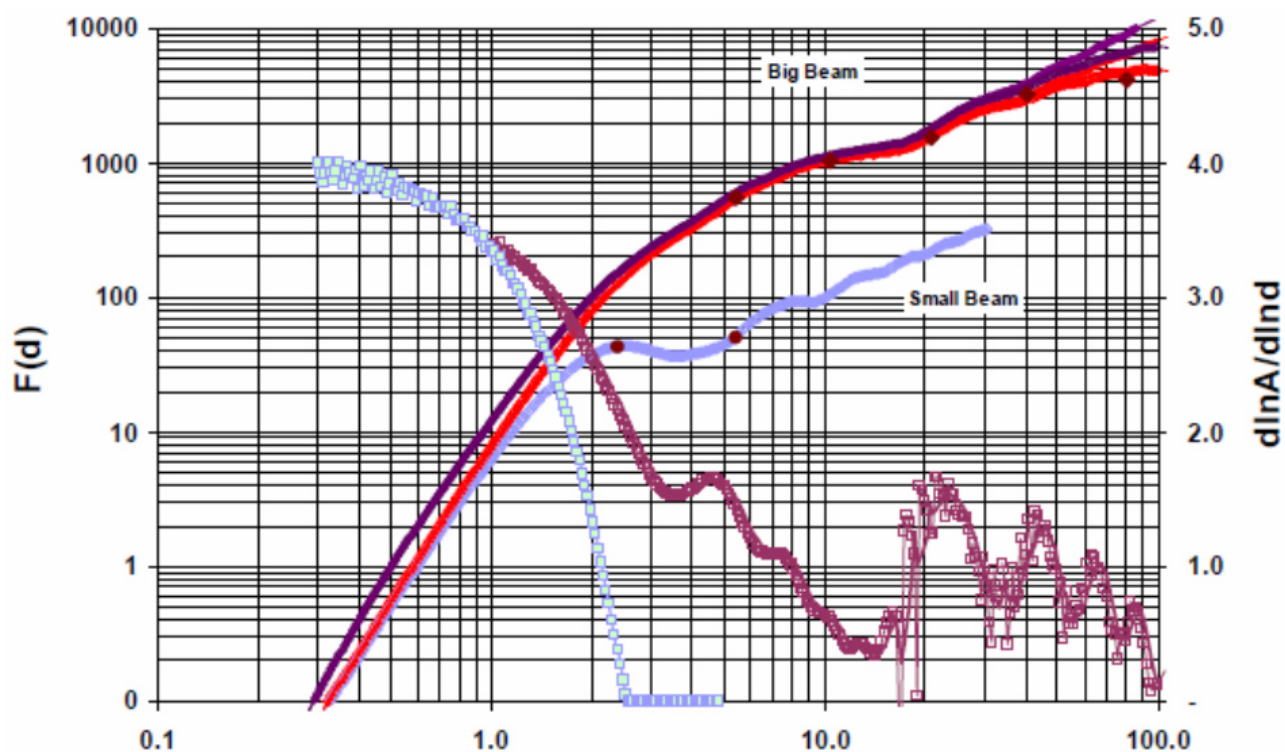


Рисунок 1.5 – Результати вимірювання розмірів часток зі застосуванням пристрою компанії Metrix Inc

Сумарна індикатриса для полідисперсних частинок має в своєму складі парціальні індикатрисы для кожної монодисперсної фракції. За допомогою форми парціальних індикатрис, а також абсолютною величиною інтенсивності розсіяного оптичного випромінювання можна визначити розподіл розмірів частинок, які хаотично орієнтовані. На точність визначення істотно впливає наявність шумів вимірювальних пристроїв та процедури вимірювання.

Показники розсіювання оптичного випромінювання застосовуються в спектротурбідиметричному методі вимірювального контролю розмірів

дисперсних частинок. У методі застосовується спектр каламутності, який є сукупність вимірювань розсіювання оптичного випромінювання з набору довжин хвиль. Для точного та достовірного вимірювання геометричних розмірів частинок необхідно використовувати результати вимірювання показника розсіювання оптичного випромінювання у видимому діапазоні спектру. Похідна від характеристики спектра каламутності визначає хвильову експоненту [1, 13]. Аналітичні співвідношення, що одержано зі застосуванням теорії Мі, дозволяють з використанням хвильової експоненти визначити розміри суспендованих частинок.

Розглянуті методи базуються на визначенні значення величини розсіяного оптичного потоку. Проте, можна використовувати спектральний склад шумового сигналу. Частинки перебувають у броунівському безперервному русі, рівень їх рухливості можна характеризується за допомогою коефіцієнтів обертальної та поступальної дифузії. Коефіцієнт обертальної дифузії характеризує здатність обертання відносно центру маси, а поступальної дифузія – переміщення частинок у просторі. Метод, який застосовує ці властивості, має назву кореляційна фотометрія. Схему вимірювання шумової складової фотометричного сигналу наведено на рис. 1.6.

Під час обробки шумової складової сигналу знаходять граничну частоту шумів і форму спектра. Спектральну залежність зміни сигналу описують за розподілом Лоренцу, який спадає під час дії високих частот. У середовищі, яке має задану в'язкість, частинки не можуть змінювати своє становище через інерційні властивості зі швидкістю, значення якої є більше ніж певна межа, що дорівнює частоті зрізу. За формою спектра можна визначити коефіцієнт поступальної дифузії R_m . Перехід від нього до розмірів частинок здійснюється зі застосуванням аналітичних співвідношень, які базуються на молекулярній теорії теплового зсуву частинок. Цей метод можна ефективно застосовувати для вузьких розподілів, де відношенням максимального до мінімального розміру складає не більше порядку. Пристрою, що базуються на цьому методі воготовляються компаніями Bookhaven Instruments Corp., Wyatt Technology.

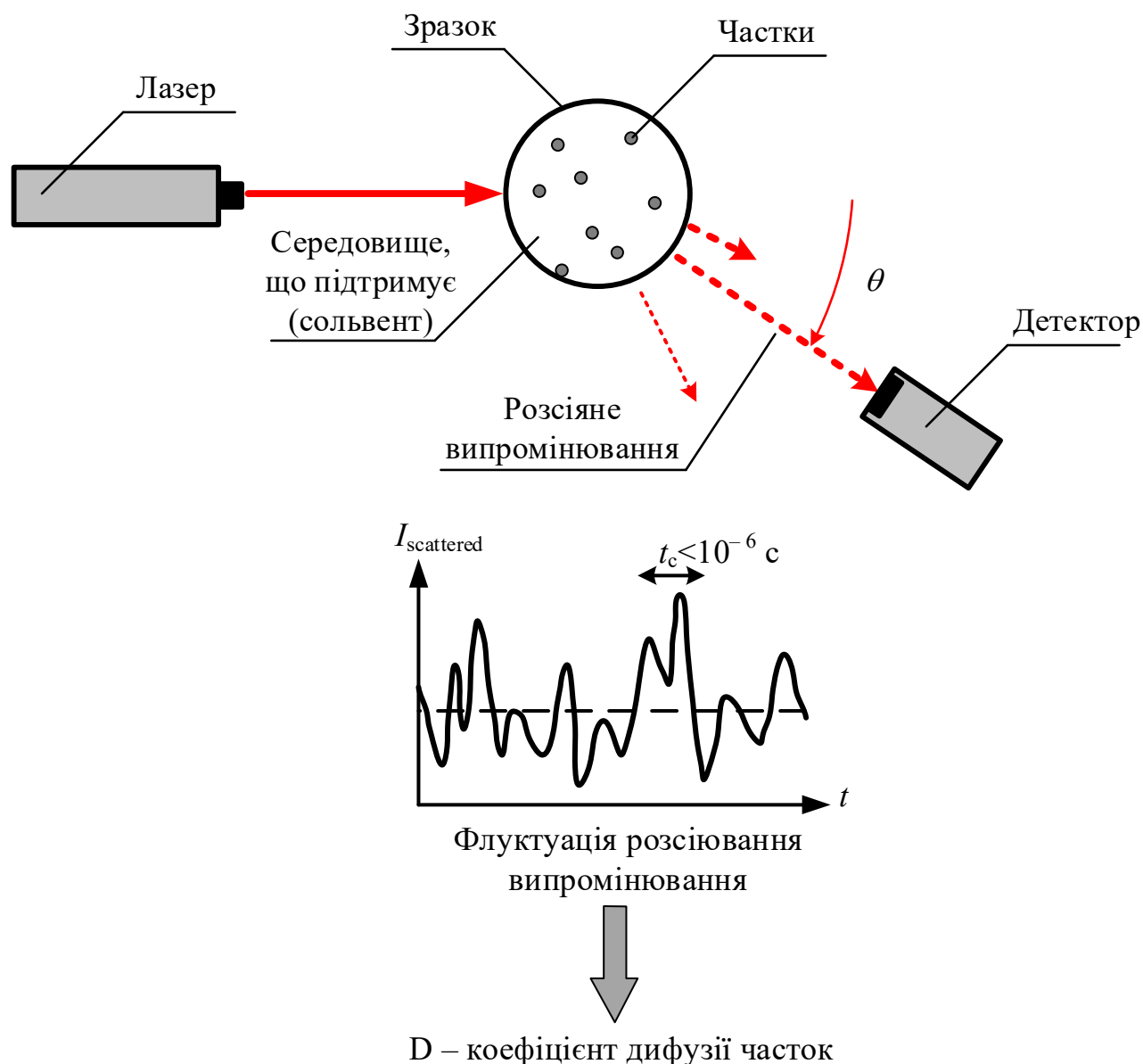


Рисунок 1.6 – Схема вимірювання динамічного розсіювання оптичного випромінювання частками

Коефіцієнт обертальної дифузії частинок можна оцінити з аналізу результатів оптико-електронних досліджень. Для визначення коефіцієнта обертальної дифузії застосовується релаксаційна характеристика переходу частинок із доволі слабким ступенем орієнтації до хаотичного. Кожній фракції відповідає експонента з показником, значення якого дорівнює шести величинам коефіцієнта обертальної дифузії D_r [14].

Величина коефіцієнту обертальної дифузії D_r залежить від розмірів частки:

$$D_r = \frac{k \cdot T}{\pi \cdot \eta \cdot b^3} \cdot \ln \left(2 \cdot \frac{b}{a} - 0,5 \right),$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

a – поперечний розмір частинки;

b – подовжній розмір частинки.

Задача задачі стає більш складною, якщо має місце розкид розмірів суспендованих частинок. Кожна з фракцій впливає на релаксаційну з ваговим множителем, значення якого дорівнює концентрації частинок цієї фракції. Для визначення розподілу розмірів за формою цієї кривої застосовується рівняння Фредгольма. Для його розв'язання необхідно використати деякі спрощення. Застосування згладженої кривої та використання критерію гладкості дозволить розв'язати рівняння Фредгольма зі застосуванням методу регуляризації.

Для спрощення зазначеної процедури визначають функцію розподілення розмірів частинок з відомих: нормального, логарифмічно нормального, Релеєвського або інших функцій.

З відомих пристроїв, що застосовуються для вимірювання розмірів з релаксаційною кривою є електронний пристрій типу EloTrase, який виготовляється фірми Biotronix.

Зазначений метод ефективно застосовується для невеликих розподілів, у яких відношення максимального до мінімального розмірів складає не більше одного порядку.

Непрямим методом вимірювального контролю розмірів частинок, який базується на їх пропусканні через капіляр, є кондуктометричний метод. Переміщення частинок здійснюється з однієї до іншої судини через вимірювальний капіляр завдяки наявності різниці тисків. Між зазначеними судинами прикладається різниця потенціалів.

Частки знаходяться в провідному середовищі, тому під час їх проходження через капіляр змінюється опір рідини та має місце імпульс струму. Площа цього імпульсу є пропорційною від розміру частки.

Потім здійснюється сортування імпульсів струму за площею, що дає змогу встановити функцію розподілу частинок. Калібрування капіляра зі застосуванням стандартного зразка дозволить виконати перерахунок розподілу площ імпульсів струму до розподілу геометричних розмірів частинок. Електронні пристрої мають набір капілярів з різним діаметром, що забезпечує вимірювальний контроль розмірів частинок у доволі широкому діапазоні [15]. Результати вимірювання часток кондуктометричним методом наведено на рис. 1.7.

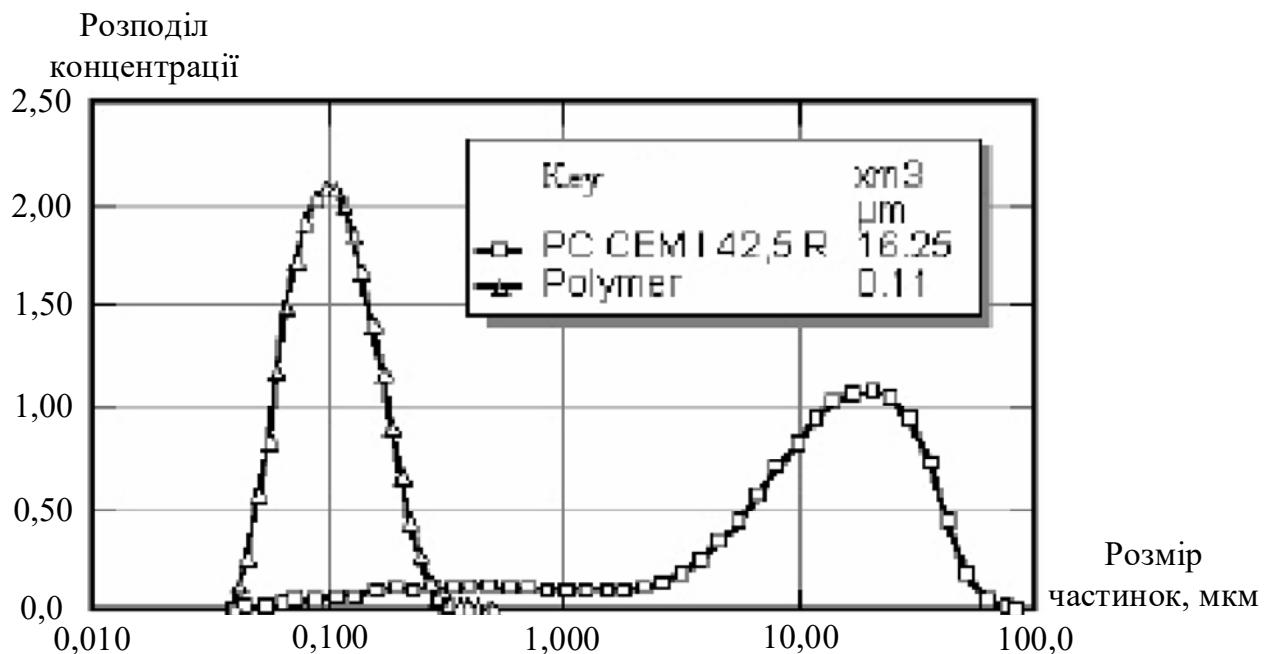


Рисунок 1.7 – Результати вимірювання часток кондуктометричним методом

Електронні пристрої, що базуються на цьому методі вимірювання розмірів частинок, знайшли доволі широке застосування, вони випускаються компанією Beckman Coulter. Проте, ці застосування цих пристроїв вимагає проведення ретельної підготовки проби, що має високу концентрацію частинок, а також в пробі повинні бути відсутні конгломерати частинок. Під час вимірювання дрібних частинок необхідно в пристрої застосовувати тонкі капіляри. Капіляри, які мають внутрішній діаметром менше ніж 50 мкм

зазвичай швидко забиваються.

Ультразвукові електронні пристрої вимірювання розмірів застосовуються для розчинів, що мають високу концентрацією, величина якої може сягати від 50 до 70 % [16]. Ці пристрої базуються на вимірюванні звукової інтерференції хвилі в резонаторі, який повинен бути заповненим середовищем з частками, концентрація і розміри яких досліджуються (див. рис. 1.8).

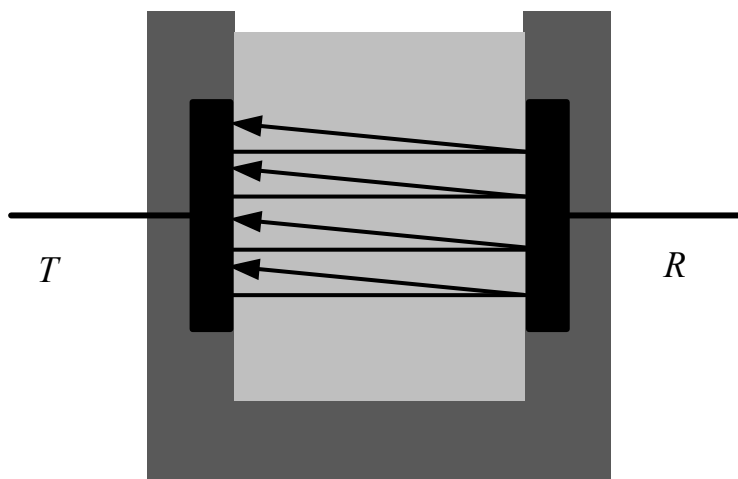


Рисунок 1.8 – Конструкція ультразвукового пристрою вимірювання розмірів і концентрації частинок

Метод базується на визначенні спектральної залежності інтенсивності ультразвукової відбитої хвилі, яка під час зміни ультразвукової частоти утворює в середині резонатора стоячу хвилю. Спектральна залежність емульсії масляних частинок у воді наведено на рис. 1.9.

Ультразвуковий метод широко застосовується для вимірювального контролю якості пігментних частинок під час виробництва композиційних матеріалів і фарб.

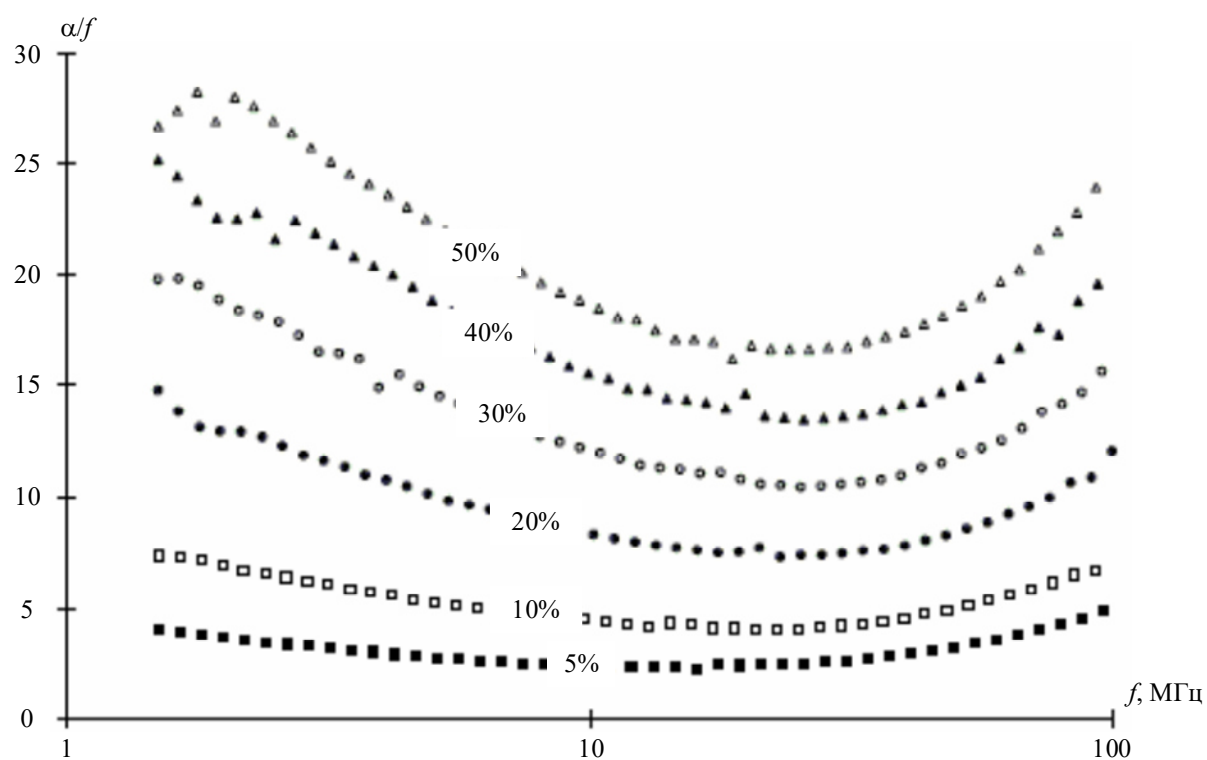


Рисунок 1.9 – Спектральна залежність емульсії масляних частинок у воді

2 РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ

2.1 Спосіб вимірювання параметрів часток в потоці розчину

На базі властивості орієнтації частинок, що має місце в циліндричному потоці TaylorCouette, розроблений метод вимірювального контролю розмірів та концентрації частинок. Під час розв'язання завдання виявлено, що зазначений метод має такі переваги. Процедура вимірювання є надзвичайно простою. Метод має висока точність результатів вимірювання, що можна досягнути простою апаратною компонентною. Зменшення порогового значення нижньої концентрації частинок можна досягти завдяки накопиченню та фільтрації вимірювальних даних.

У потоці рідини гідродинамічна орієнтація частинок має стохастичний вид. Частинки, якщо у рідині має місце градієнт швидкостей, а також під час значень числа Рейнольдса не більше 10, мають стані нестійкого рівноваги. Якщо вони втратили цей стан, то має місце перекидання частот до його початкового стану. Якщо розкласти швидкості зі зміною положення за напрямками косинусів під час виконання моделювання процесу, що він має квазігармонійний характер без домінуючого положення у режимі нестійкої рівноваги [17].

У цьому випадку під час усереднення за часом орієнтування становища частинок та їх перетину з розсіюванням оптичного випромінювання є функція кута від орієнтації часток за усередненим значенням перетину розсіювання оптичного випромінювання часткою. Процес переміщення частинок є випадковим і не синхронізованим, усереднення за перетином під час моделювання незначно відхиляється від результатів моделювання хаотичної орієнтації частинок.

Під час експериментальних досліджень щодо оцінки орієнтації частинок

у потоці, який має форму циліндра свідчать про те, що це не так. Оптичні характеристики істотно змінюються. Це вказує на істотну відмінність у тривалості нестійкої рівноваги, а також проміжку часу перевертання, а також щодо доцільності використання потоку для здійснення орієнтування в ньому частинок. Використання цих орієнтувань під час оптико-електронних вимірювань дозволить виконати оцінки між співвідношенням проміжку часу нестійкої рівноваги та перекиданням. Зіставлення отриманих результатів дозволить зробити кількісну оцінку величини орієнтації.

За допомогою гідродинамічної орієнтації частинок у потоці можна створити оптичні анізотропні властивостей суспензії. Це дозволить визначити у рідині частинки, а також виконати розрахунки їх геометричних розмірів.

Виконаємо аналіз процедури вимірювання. Для здійснення вимірювання геометричних розмірів, а також концентрації частинок виконується програмована модуляція характеристик і параметрів суспензії під час дії старт-стопового режиму потоку речовини.

Орієнтація частинок має місце під час створення потоку, які релаксація до хаотичного стану, якщо кутової швидкості циліндрів будуть дорівнювати між собою.

Рух потоку між зазначеними циліндрами здійснюється за годинниковою стрілкою, якщо спостерігати зверху вниз, що має місце у північній півкулі планети. Зазначене забезпечує зменшення впливу дії каліострової сили та стабілізує рух речовини.

За видом релаксаційної кривої визначається середньозважений розмір частинок, а також залежність розподілу геометричних розмірів частинок.

Орієнтування частинок може мати місце в будь-якому середовищі, так для біологічних об'єктів ці середовища можуть бути як місцями зростання, існування чи зберігання. Це дозволяє не застосовувати процедуру підготовки проби та здійснювати вимірювання зміни параметрів зразка, що досліджується. Підтримка зазначеного середовища зменшити вплив сил на частинку тому, що не змінюються характеристики зовнішнього середовища.

Коректний вибір параметрів для здійснення модуляція оптичних властивостей зразка дозволить виконати фільтрацію вимірювальних даних завдяки підбору частоти старт-стопового режиму роботи, а також зменшити вплив великих часток на результат вимірювання. У залежності від положення джерела оптичного випромінювання та фотоприймального пристрою відносно вимірювальної комірки можна здійснювати вимірювання параметрів частинок суспензії під час дії низької та доволі високої їх концентрації. У першому випадку оптичне випромінювання проходить уперек від зазорів циліндра, а в другому – розповсюджується за спіральною траєкторією у зазорі між двома циліндрами.

Потік можна застосовувати для проведення вимірювання геометричних розмірів частинок у доволі широкому діапазоні. Це можна отримати під час застосування середовища, що підтримує, яке має різний ступінь в'язкості. Перехід від водного підтримуючого середовища до розчинів з гліцерином або силіконових олій може змінити ступінь в'язкості середовища до 50 разів, що дозволить збільшити діапазон вимірюваних значень геометричних розмірів.

Якщо здійснювати порівняння відгуку оптичного сигналу перед безпосередньо вимірюванням і після релаксації частинок з хаотичного стану дозволить ідентифікувати тренд та зменшити його вплив на вимірювальне значення сигналу. Форма сигналу релаксації відома, вона складається експонент, що мають різні вагові множники та показники, то необхідно побудувати фільтр, у якого пов'язана спектральна характеристика.

Якщо здійснювати обробку сигналів, які мають дуже високу шумову складову, то наявність додаткової інформації щодо зміни параметрів вимірювального сигналу дозволяє виконати оптимізацію під час вимірювання цього сигналу. Додаткова інформація щодо спектрального складу сигналу та характерні шумові компоненти дозволяють застосувати оптимальний фільтр, збільшити відношення сигнал-шум, а також ідентифікувати та виділити параметри корисного сигналу на рівні шумової складової. Для цього розроблено та застосовується достатньо велика кількість методів фільтрації.

Одним з цих методів є методи накопичення вимірювальних значень інформаційного сигналу. Зі застосуванням зазначеного методу збільшується відношення сигнал-шум тому, що процедуру накопичення можна здійснювати багаторазово, а передача нового кадру інформаційних даних є синхронізовано. Додаткове підвищення відношення сигналу-шум можна одержати, якщо відомо форму вимірювального сигналу. Покращення можна досягти, якщо сигнал є обмеженим у часі, а також можна зменшити вплив тренду та низьких частот на спектральну характеристики вимірювального сигналу.

Одним з ефективних методів забезпечення апаратної організації під час накопичення інформаційних даних щодо вимірювання геометричних розмірів і низьких значень концентрацій частинок зі синхронізацією фільтру є забезпечення старт-стопового режиму роботи гідродинамічної орієнтації частинок у потоці в камері, що призводить до подальшої релаксації до хаотичного стану. Вимірювальними параметрами є зміни оптичних властивостей середовища, що досліджується, завдяки орієнтації частинок.

Для спрощення розрахунку під час вимірювання параметрів сигналу можна застосувати апаратну фільтрацію. Фільтр низьких частот, який має практично прямокутну спектральну характеристику та різке значення частоти зрізу може отримати під час здійснення трансформації вихідного аналогового сигналу фотоприймального пристрою на частоті проходження імпульсної послідовності з накопиченням імпульсів у лічильнику. Під час такої реалізації, на відміну від застосування аналого-цифрових перетворювачів, вибірка сигналу здійснюється на всій довжині реалізації. Частота зрізу зазначеного фільтра є обернено пропорційна від тривалості стробу визначення інформаційних даних. Стробування інформаційного сигналу та процедура накопичення імпульсів здійснюється безперервно, тому має місце максимальне значення відношення сигналу-шум без застосування цифрової фільтрації вихідного інформаційного сигналу.

Здійснення синхронного накопичення інформаційного сигналу, що прив'язано за часом до початкової точки здійснюється під час реалізації

режиму старт-стоп гідродинамічної орієнтації частинок. Використання цифрових фільтрів, які мають підібрані параметри дозволяє отримати додаткову інформацію щодо форми вимірювального сигналу. Зазначений сигнал є сумою експонент, тому додаткову фільтрацію вимірювальних даних можна виконати під час зменшення частоти зрізу фільтра низької частоти зі зсувом до кінця набору інформаційних даних.

Одним зі завдань є підвищення метрологічних характеристик вимірювання геометричних розмірів і концентрації частинок тому, що під час практичної реалізації зазначених методів необхідно здійснювати вимірювання низьких значень концентрацій, а також виконувати обробку інформаційних сигналів, у яких відношення сигнал/шум може бути менше або дорівнювати одиниці.

2.2 Визначення ступеню орієнтації часток в потоці

Наведені у літературі відомості щодо поведінки частинок у потоці не описують ступінь їх орієнтації. Це є одним з важливих питань тому, що стаціонарні перетини розсіювання є доволі слабо орієнтованими, а ступінь сильно орієнтованих частинок може визначатися за різними формулами. Також, ступінь орієнтації частинок істотно впливає на вигляд кривої релаксації. Ця крива є основою для визначення значення середнього розміру, а також вигляду розподілу розмірів частинок. Наявність експонент, які мають велике значення натурального показника, який входять до перетину оптичного розсіювання випромінювання для сильно орієнтованих частинок, буде причиною виникнення систематичної похибки та зменшення розрахункового значення середнього розміру частинки.

Величину орієнтації частинок можна визначити під час порівняння результатів експериментальних досліджень анізотропії оптичних властивостей суспензії, які одержано зі застосуванням гідродинамічної орієнтації в потоці, з

методом електричної орієнтації частинок, що визначаються в змінному електростатичному полі. Під час застосування методу вимірювання дихроїзму суспензії з орієнтацією частинок електростатичним полем залежність стаціонарного розподілу частинок за кутами описується на базі закону Больцмана:

$$W(\chi) = W_0 \cdot \exp\left(\frac{\Delta\alpha(\omega) \cdot E^2 \cdot \cos^2 \chi}{2 \cdot k \cdot T}\right),$$

де T – значення абсолютної температури, К;

k – постійна Больцмана;

$W_0 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} W_0(\chi) d\chi$ – нормування за загальною кількістю одиниць;

$\Delta\alpha(\omega)$ – зміна поляризованої електричної частинки на частоті ω ;

E – напруженість електростатичного поля;

χ – кут між віссю частинки та вектором електростатичного поля.

Характеристику розподілення частинок від кутів орієнтації за напрямком впливу $\chi = 0^\circ$ (а) та за ортогональним напрямком $\chi = 90^\circ$ (б) наведено на рис. 2.1.

Під час зіставлення трансформованих величин для консервативного дихроїзму гідродинамічної та оптико-електронного орієнтації часток можна визначити ступінь орієнтації цих часток. Значення консервативного дихроїзму можна розрахувати за таким співвідношенням:

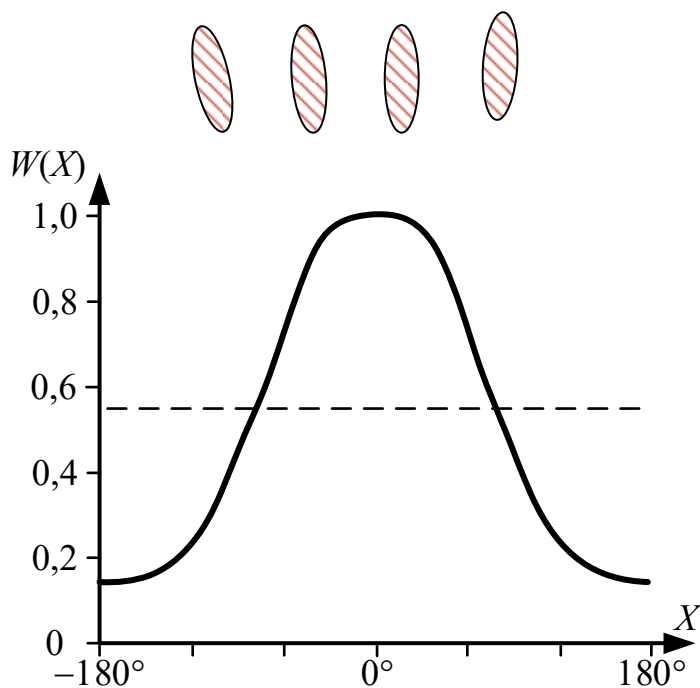
$$\Delta D = \Delta G(t) \cdot N = \frac{G_v(t) - G_r}{G_r} = \frac{D_v(t) - D_r}{D_r},$$

де N – кількість частинок;

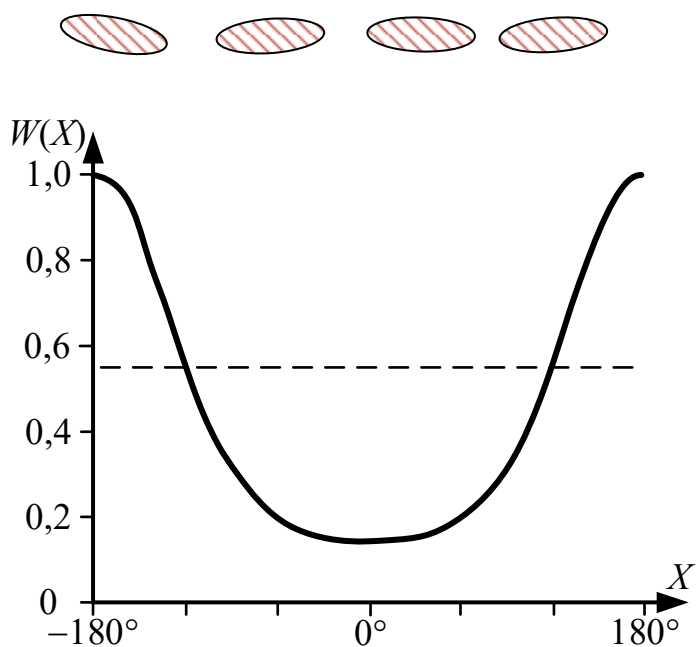
G_v та D_v – перетин розсіювання та вимірювальне значення оптичної

щільність орієнтованих частинок;

G_r та D_r – перетин розсіювання та вимірювальне значення оптичної щільності хаотично орієнтованих частинок.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Характеристика розподілення частинок від кутів орієнтації за напрямком впливу $\chi = 0^\circ$ (а) та за ортогональним напрямком $\chi = 90^\circ$ (б)

Виконаємо аналіз орієнтації довгої осі частинок у напрямку, який є ортогональним щодо проходження оптичного випромінювання, у цьому наведене вище співвідношення приймає такий вигляд:

$$\Delta D = \frac{D_{\perp} - D_r}{D_r},$$

де $D_{\perp}$ – оптична щільність суспензії, до складу якої входять частинки, орієнтація яких є поперечною від потоку оптичного випромінювання.

Для зіставлення методів необхідно застосувати оптичні вимірювальні тракти, схеми яких наведено на рис. 2.2 та 2.3.

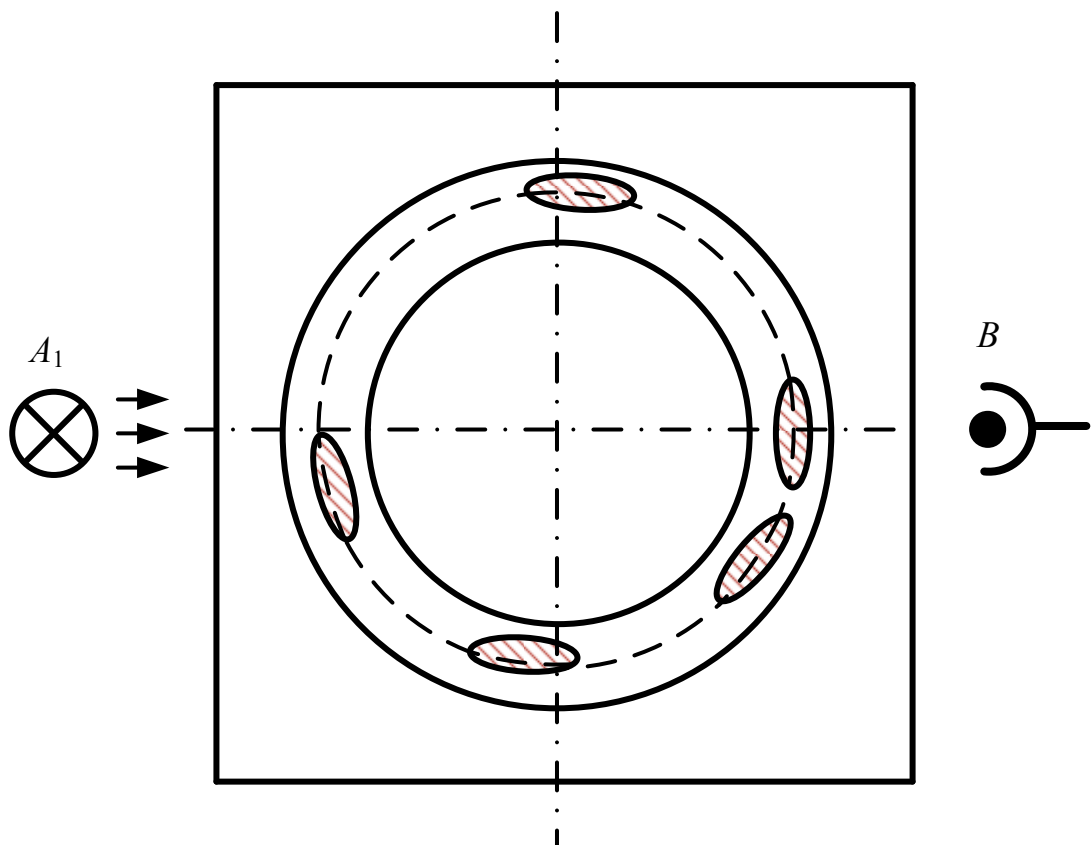


Рисунок 2.2 – Схема вимірювального оптичного тракту для визначення гідродинамічної орієнтації частинок

На рис. 2.2 наведено перетини вимірювальних комірок. До складу комірки вимірювання гідродинамічної орієнтації частинок входять два

циліндри, які розташовано на одній осі. Величина оптичного шляху у вимірювальній комірці дорівнює подвійному значенню величини зазору між циліндрами та дорівнює значенню 5,0 мм. Комірка електрооптичної орієнтації має квадратний перетин. У цій комірці розташовано дев'ять електродів, які об'єднано до групи. Ці електроди підключено до генератора змінної напруги. Ортогональна щодо оптичного потоку орієнтація частинок має місце для пучка випромінювання A_1 та вимірюється фотоприймачем B_1 . Значення оптичного шляху у комірці дорівнює відстані між її стінками. На рис. 2.3 позначено B_1 та B_2 – фотоприймачі поперечної $D_{\perp}(t)$ та подовжньої $D_{\parallel}(t)$ орієнтації частинок.

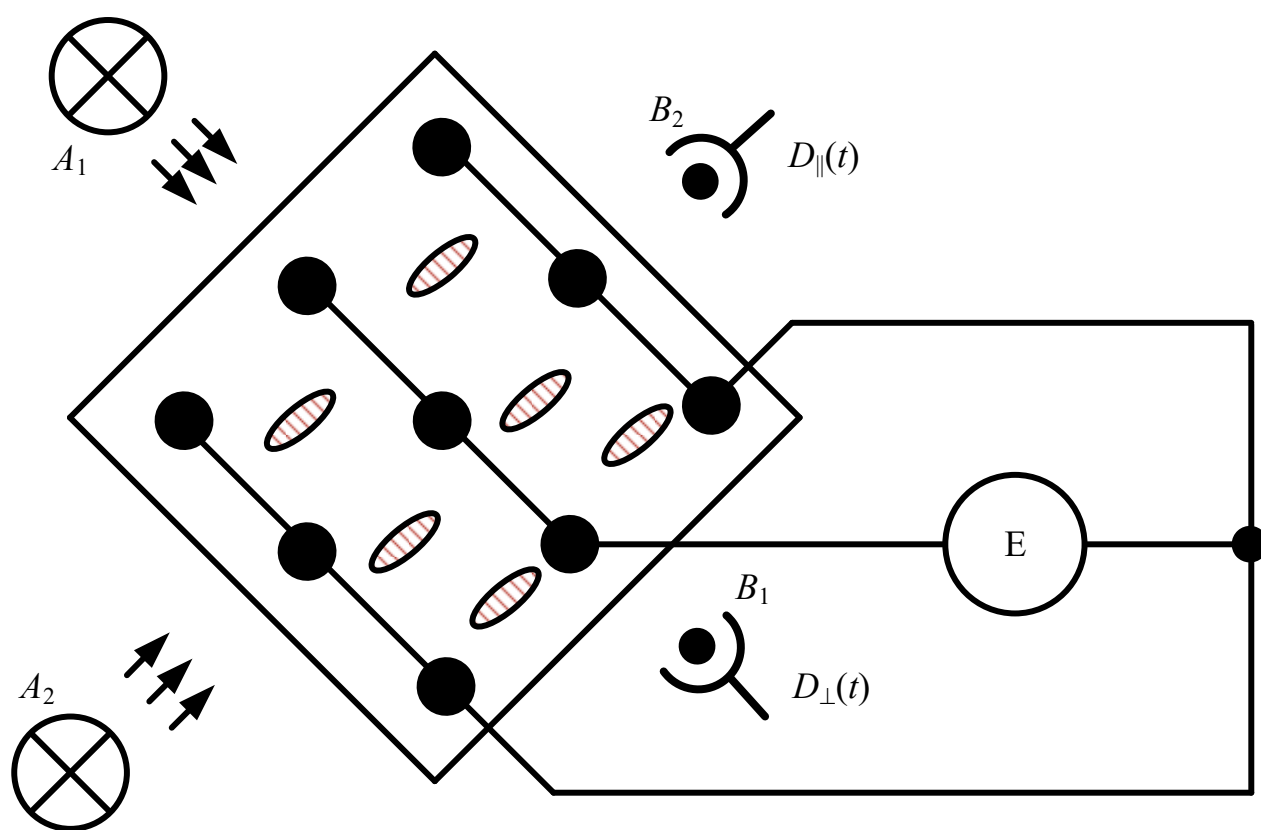


Рисунок 2.3 – Схема вимірювального оптичного тракту для визначення оптико-електронної орієнтації частинок

У схемі вимірювального оптичного тракту для визначення оптико-електронної орієнтації частинок використовується комірка аналізатору частинок типу EloTrace3.0, яку виготовляє компанія Biotronix GmbH. Величина оптичного шляху вимірювальної комірки дорівнює 8 мм.

Оптико-електричні вимірювачі орієнтовано на вимірювання низького ступеня орієнтації, тому під час їх застосування неможливо визначити повний діапазон вимірювальних значень. Величину повної орієнтації частинок можна розрахувати зі застосуванням асимптотичного наближення. За віссю абсцис напруженість електростатичного поля у ступені два, а за віссю ординат – величина оптичної щільності суспензії. Для здійснення порівняльного аналізу результатів вимірювання зазначеними методами необхідно використати суспензію бактерій типу *Lactobacillus Plantarum*, які використовуються під час виробництва кисломолочних продуктів. Залежність зміни відносного значення оптичної щільності від напруженості електростатичного поля суспензії, оптична щільність якої дорівнює 0,45, з величиною оптичного шляху 10 мм, для поперечної, поздовжньої та різницевої складових під час дії стаціонарної фази орієнтації наведено на рис. 2.4.

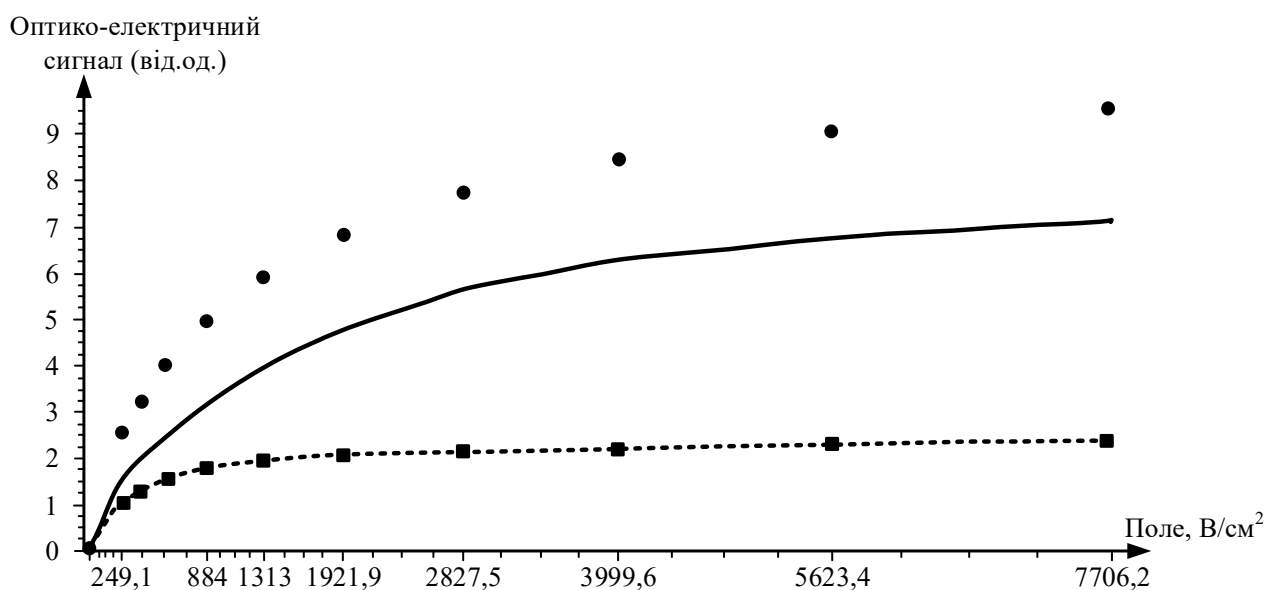
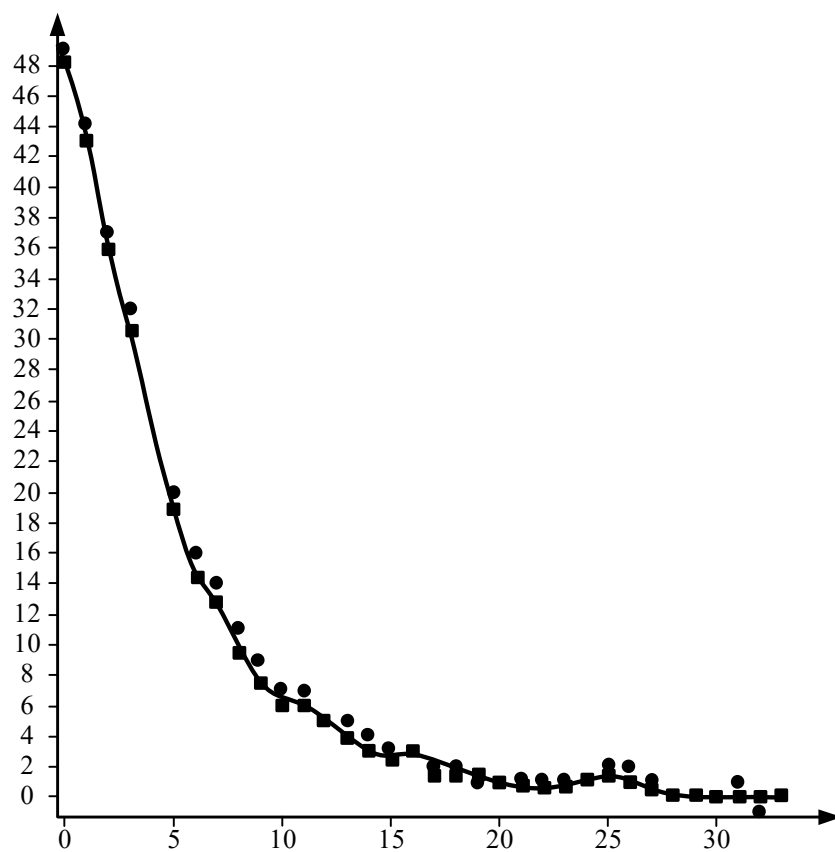
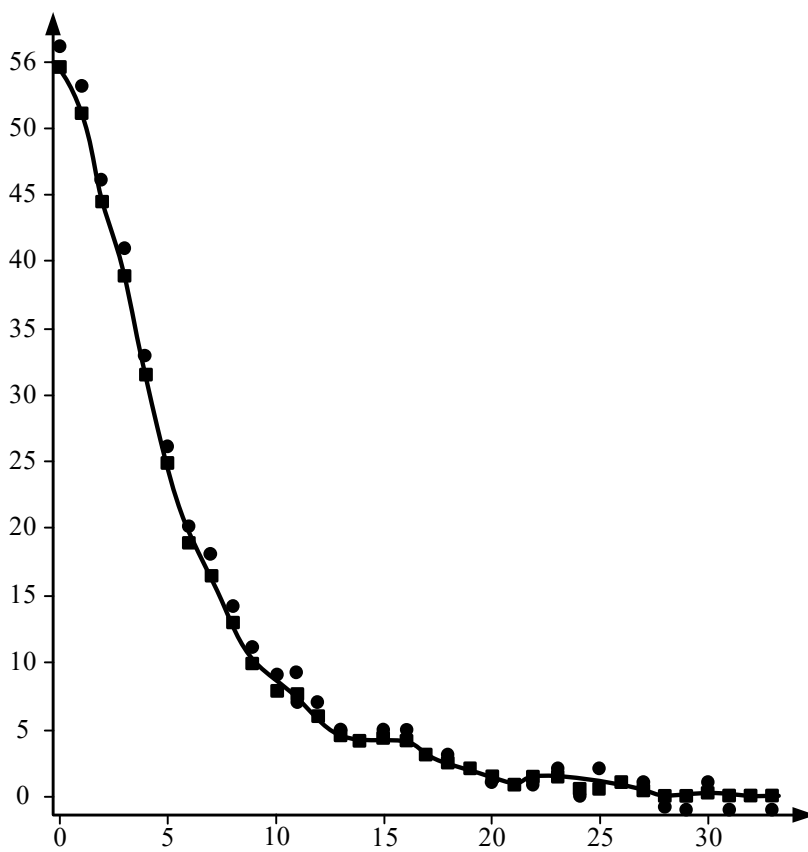


Рисунок 2.4 – Залежність зміни відносного значення оптичної щільності від напруженості електростатичного поля суспензії

Зміна оптичної щільності для поперечної складової сигналу орієнтації частинок складає 2,4 %. Результати вимірювання гідродинамічної залежності зазначених часток наведено на рис. 2.5.



a)



б)

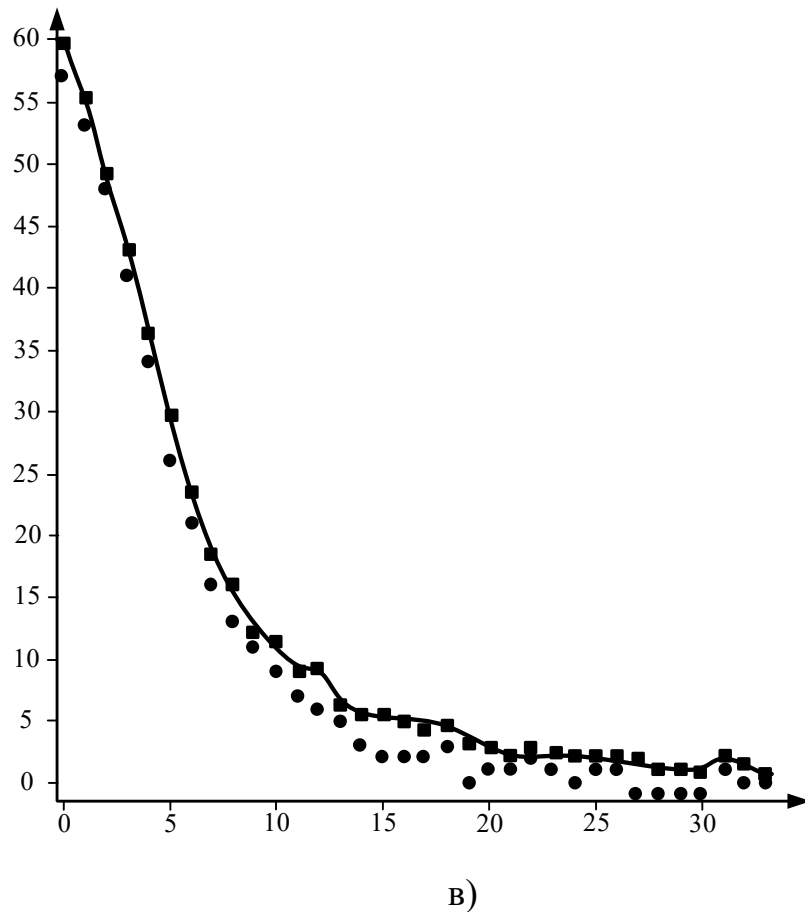


Рисунок 2.5 – Оптичні сигнали дезорієнтації частинок з поперечною складовою у потоці суспензії, яка має оптичну щільність 0,45 та оптичний шлях 10 мм

На рис. 2.5 позначено суцільну лінію, яку отримано під час усереднення інформаційного сигналу зі 8 серіями вимірювання:

а) швидкість обертання 2000 об./хвилину, зміна оптичної щільності поперечної складової сигналу становить 1,53%;

б) швидкість обертання 2600 об./хвилину, зміна оптичної щільності поперечної складової сигналу 1,77%;

в) швидкість обертання 3000 об./хвилину, зміна оптичної щільності поперечної складової сигналу 1,90%.

Під час дії стаціонарної орієнтації частинок з проходження оптичного випромінювання, що є ортогональним за відношенням до потоку, значення кута дорівнює 90° . Для хаотичної орієнтації величина кута χ орієнтовно дорівнює

57°. Якщо величина кута знаходиться в межах від 57 до 90°, то має місце просвітлення суспензії.

З аналізу залежності, яку наведено на рис. 2.4 можна зробити висновок, що має місце насичення в поперечній складовій оптико-електронного сигналу, що показує на процес повної орієнтації частинок. Під час цього величина оптичної щільності поперечної складової сигналу складає 2,4 %.

Під час аналізу гідродинамічною орієнтацією визначено, що зміна оптичної щільності поперечної складової сигналу зі швидкості обертів 3000 об/хвилину дорівнює 1,90%. Отже, величина ступеню орієнтації частинок у вимірювальній комірці з потоком складає приблизно 80 % від величини насичення.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЧАСТОК В РОЗЧИНІ

3.1 Розробка вимірювальної комірки

Схему вимірювальної комірки електронного пристрою визначення розмірів і концентрації частинок в розчині наведено на рис. 3.1, де позначено: а) внутрішній циліндр, що обертається; б) зовнішній циліндр, що є нерухомим; с) електричний двигун; А1 та А2 – лазерні джерела випромінювання; В1 та В2 – фотоприймальні пристрої.

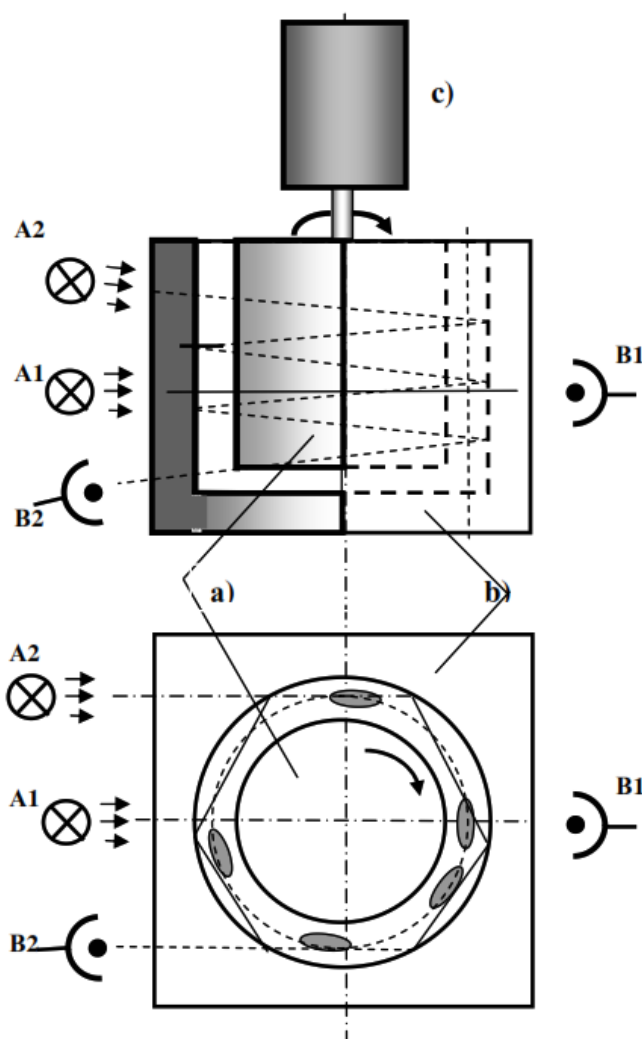


Рисунок 3.1 – Схема вимірювальної комірки електронного пристрою визначення розмірів і концентрації частинок в розчині

До об'єму між внутрішнім і зовнішнім циліндрами заливають зразок для дослідження. Циліндричний потік утворюється за допомогою електричного двигуна, який функціонує в старт-стоповому режимі роботи.

Під час дії високої концентрації частинок фотоприймальний пристрій В1 здійснює реєстрацію зміни оптичного потоку від джерела випромінювання А1, який два рази пройшов через зразок дослідження в циліндричному зазорі, де частинки орієнтовано поперечно. Матеріал, з якого виготовлено циліндри, повинен бути прозорим, а також не зменшувати інтенсивність оптичного випромінювання. Зазначена конструкція є набором двох послідовно розташованих циліндричних лінз. Ці лінзи мають низьке значення кривизну поверхні, а їх фокусна відстань є має доволі велике значення. Фотоприймальний пристрій розташовано в фокальній площині блоку циліндричних лінз. Вплив кривизни циліндричної лінзи практично не впливає на точності результатів вимірювання.

Під час дії низької концентрації частинок зміна оптичного потоку випромінювання з орієнтацією часток має незначний вплив тому, що оптичний шлях визначається через подвоєне значення зазору, який є невеликим. Чутливість вимірювального перетворювача можна істотно підвищити зі збільшенням довжини оптичного шляху. Під час аксіального введення потоку оптичного випромінювання від джерела А2 до циліндричного зазору величину оптичного шляху можна підвищити до довжини кола. Це можливо, якщо джерело оптичного випромінювання та фотоприймальний пристрій В2 розташовано в одній площині. Для утворення зазначеного шляху потрібно, щоб оптичне випромінювання віддзеркалювалося від стінок циліндрів та утворювався оптичний канал. Пучок оптичного випромінювання розповсюджується за ламаною траєкторією. Це можна отримати, якщо стінки циліндра виготовлено металу, який має здатність до віддзеркалювання. Якщо стінки виготовлено прозорими з органічного скла, то частина енергії оптичного випромінювання буде заломлюватися та виходити з циліндричного зазору.

Величина цієї енергії оцінюється зі застосуванням формули Френеля. Під

час падіння оптичного променя на пласку межу розділення двох середовищ, має місце дві складові s- та р- поляризації оптичного випромінювання. У s-поляризації оптичного випромінювання напруженість електростатичного та електромагнітного полів є перпендикулярною до площини падіння, де мають місце падаючий та відбитий промінь. У р-поляризації вектор напруженості електростатичного поля знаходиться в площині падіння. Аналітичний опис коефіцієнтів віддзеркалення для s та р поляризації відрізняються.

Значення коефіцієнтів віддзеркалення R_s та R_p для s- та р-поляризації, дорівнюють відношенню величини потоку енергії оптичного випромінювання з відповідною поляризацією, що віддзеркалюється від межі розділу двох середовищ, до величини потоку енергії оптичного випромінювання, що падає до межі розділу середовищ, та можна розрахувати за формулами:

$$R_s = \frac{|Q_s|^2}{|P_s|^2} = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)},$$

$$R_p = \frac{|Q_p|^2}{|P_p|^2} = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)},$$

де P_p – амплітудне значення складової оптичного випромінювання з р-поляризацією, яка падає до межі розділення двох середовищ;

Q_p – амплітудне значення віддзеркаленої хвилі з р-поляризацією;

P_s – амплітудне значення складової оптичного випромінювання з s-поляризацією, яка падає до межі розділення двох середовищ,

Q_s – амплітудне значення віддзеркаленої хвилі з s-поляризацією;

α – кут між падаючим потоком оптичного випромінювання та нормаллю до поверхні циліндрів;

β – кут заломлення потоку оптичного випромінювання та нормаллю до поверхні циліндрів.

Значення кутів падіння (α) та заломлення (β) зв'язано між собою за законом Снеліуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

де n_1 – коефіцієнт заломлення середовища, від якого здійснюється падіння оптичного випромінювання на межу розділу двох середовищ;

n_2 – коефіцієнт заломлення середовища, до якого здійснюється заломлення оптичного потоку.

Вибір матеріалів, з яких виготовляються стінки циліндра, істотно впливає на функцію коефіцієнтів віддзеркалення оптичного випромінювання $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$. Для визначення геометрії циліндрів виконаємо аналіз прозорих матеріалів для його виготовлення. Аналіз виконано двох типів пластмас: полікарбонату та акрилу, кварцу та кілька типів скла, які мають різні коефіцієнтами заломлення. Використання інших типів матеріалів є економічно необґрунтовано, з міркувань оптичних властивостей у спектральному діапазоні довжин хвиль оптичного випромінювання.

Значення коефіцієнтів заломлення n_1 для різних типів рідин наведено в табл. 3.1, а значення коефіцієнту заломлення n_2 для різних матеріалів, з яких виготовляють вимірювальну комірку, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів заломлення n_1 для різних типів рідин

Рідина	n_1
Гліцерин	1,4729
Етиловий спирт	1,36
Вода	1,3329

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнту заломлення n_2 для різних матеріалів, з яких виготовляють вимірювальну комірку

Матеріал	n_2
Органічне скло	1,510
Скло флінт	1,9
Скло крон	1,5
Полікарбонат	1,586
Кварц	1,544

Під час здійснення вимірювання на обраній довжині хвилі оптичного випромінювання величина коефіцієнта заломлення буде несуттєво відрізнятися, оскільки ці коефіцієнти не враховують дисперсію за частотою. Для скла довідникове значення n дорівнює жовтому кольору d -лінії гелію на довжині хвилі 587,56 нм. Залежності зміни коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ для води та різних типів скляних матеріалів вимірювальної комірки наведено на рис. 3.2.

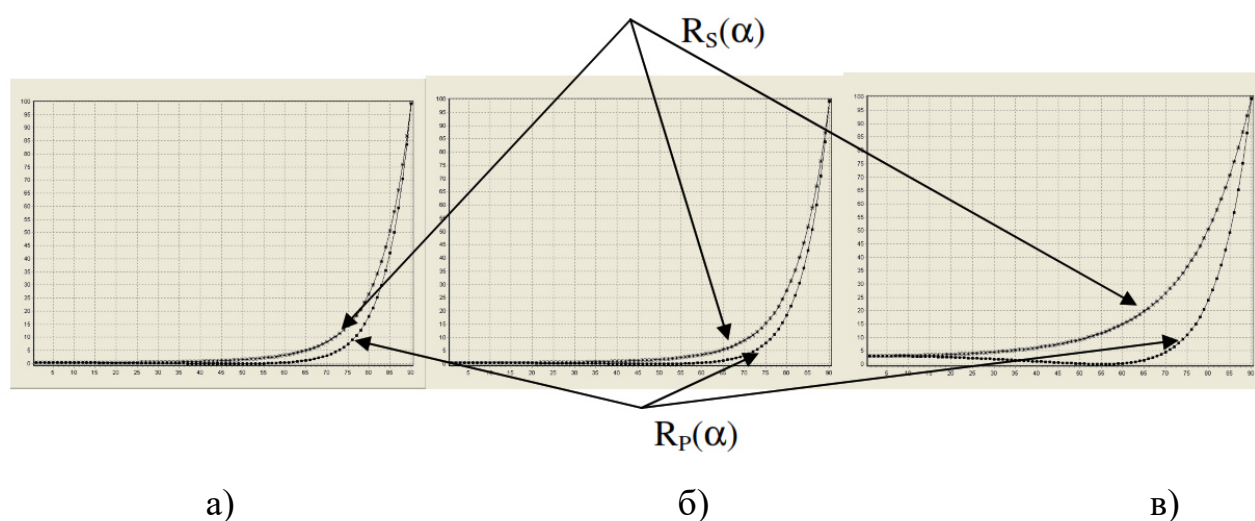


Рисунок 3.2 – Залежності зміни коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ для води та різних типів скляних матеріалів вимірювальної комірки:

а) скло крон; б) орг. скло; в) скло флінт

Залежності зміни коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ для інших типів рідини та матеріалів вимірювальної комірки мають аналогічну форму, як наведено на рис. 3.2. З аналізу залежності, що наведено на рис. 3.2 можна зробити висновок, що для вода та органічного скла для величини $\alpha=60^\circ$ величина коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ є доволі малою та складає менше 5 %, якщо $\alpha \rightarrow 90^\circ$, то $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha) \rightarrow 100\%$.

Вигляд функції зміни коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ з обліком параметрів матеріалу циліндра з відповідними значеннями коефіцієнтів заломлення, накладає обмеження на співвідношення між діаметрами зовнішнього циліндра D_1 та зазору між внутрішнім циліндром Δ . Ці параметри визначають значення кутової швидкості на поверхні циліндра комірки та градієнт швидкості у зазорі.

Геометрію вимірювальної комірки наведено на рис. 3.3, де позначено: α – кут між падаючим оптичним променем та зовнішньою поверхнею циліндра, β – кут між падаючим оптичним променем та нормаллю до поверхні циліндрів, n – нормаль до поверхні циліндра; D_1 – радіус поверхні зовнішнього циліндра, Δ – відстань між поверхнями зовнішнього та внутрішнього циліндрів, a, b, c – оптичні промені.

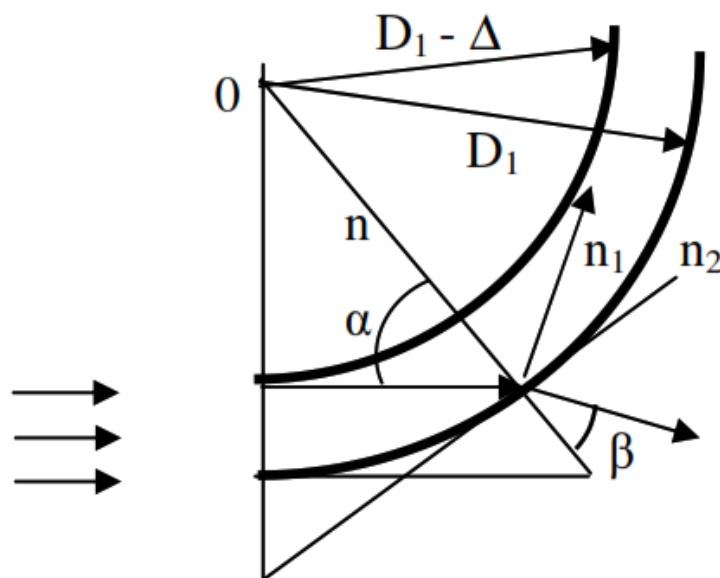


Рисунок 3.3 – Геометрія вимірювальної комірки

Отримаємо аналітичний зв'язок між цими параметрами під час розповсюдження оптичного променя у вимірювальній комірці. Якщо $\alpha \rightarrow 90^\circ$, то $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha) \rightarrow 100\%$, отже кількість віддзеркалених променів прагне до нескінченності. Оптичний промінь ковзає на внутрішній поверхні більшого циліндра вимірювальної комірки. Якщо розглянути інший граничний випадок, то оптичний промінь має мінімальний кут падіння, як наведено на рис. 3.3, отже, справедливо таке співвідношення:

$$\sin \alpha = \frac{D_1 - \Delta}{D_1},$$

Якщо величина кута $\alpha = 60^\circ$, то має місце таке співвідношення:

$$\frac{D_1 - \Delta}{D_1} = 0,866.$$

З аналізу отриманих співвідношень можна зробити висновок, що зі збільшенням відстані між двома циліндрами Δ утворюються оптичні промені, які падають на межу розділу двох середовищ з меншим значенням кута ніж $\alpha = 60^\circ$. З обліком того, що величина коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ для цих кутів є дуже малою та складає менше ніж 5%, то під час використання наведених рідин та матеріали, з яких можливе виготовлено вимірювальної комірки, тому оптичне випромінювання практично повністю заломлюється. Воно буде виходити зі зазору між циліндрами та не буде сприйматися фотоприймальним пристроєм. Отже, величину зазначеного параметра необхідно обмежити зверху на заданому значенні D_1 .

Зазначені обмеження величини діаметру циліндра можливо обійти, якщо застосовувати металеві циліндри, що мають дзеркальні поверхні. Проте застосування простої оптичної схеми, яка має ортогональні оптичні потоки в

центрі циліндра, стає неможливо.

Також необхідно мати на увазі, що суспензія вимірювальному циліндричному зазорі має здатність розсіювати оптичне випромінювання, яке проходять через неї. Реальні величини кутів падіння оптичного випромінювання на межу розділу двох середовищ визначаються додатковим перетином розсіювання суспензії.

Ще однією особливістю є те, що величини коефіцієнтів віддзеркалення $R_s(\alpha)$ та $R_p(\alpha)$ для одного кута α є не однаковими. Лазерні джерела оптичного випромінювання здатні генерувати частково поляризоване випромінювання, облік цього необхідно здійснювати під час калібрування оптичної схеми пристрою. Одним з головних етапів калібрування є визначення максимального значення інтенсивності оптичного випромінювання під час повертанні джерела випромінювання щодо своєї осі.

Якщо джерело оптичного випромінювання та фотоприймальний пристрій рознесено за висотою, а оптичне випромінювання подається під деяким кутом щодо площини, яка є ортогональною осі обертання вимірювальних циліндрів, то випромінювання буде розповсюджуватися за оптичним каналом, як спіраль. Кожен виток цієї спіралі є ламаною лінією. Кількість витків визначається висотою вимірювального циліндра, кроком цієї спіралі, а також показником розсіювання оптичного випромінювання частинок. Крок спіралі задається кутом нахилу оптичної осі від джерела оптичного випромінювання відносно осі обертання вимірювального циліндра. Схему спірального розповсюдження оптичного випромінювання в потоці наведено на рис. 3.4.

Для прозорих і металевих дзеркальних циліндрів обмежень на виведення та введення оптичного випромінювання немає. Потрібно застосовувати адаптери для виведення та введення оптичного потоку з рідини, яка має однаковий коефіцієнт заломлення, як і зразку. Застосування таких заходів може забезпечити аксіальне виведення та введення оптичного випромінювання без додаткових віддзеркалень. Максимальну можливу кількість витків у цій траєкторії можна визначити експериментальним шляхом.

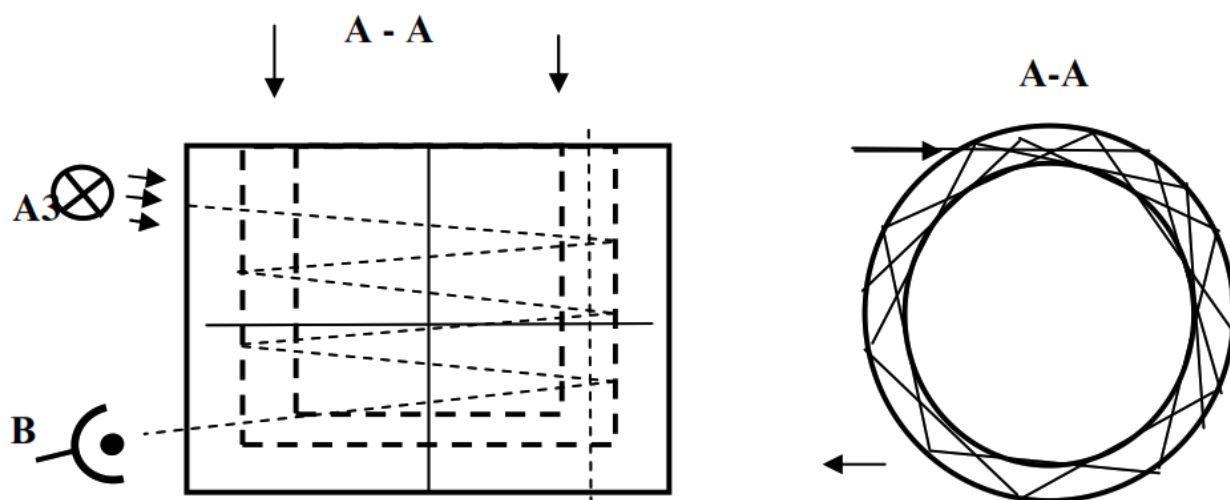


Рисунок 3.4 – Схема спірального розповсюдження оптичного випромінювання в потоці

3.2 Розробка структури електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині

Структурну схему електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині наведено на рис. 3.5.

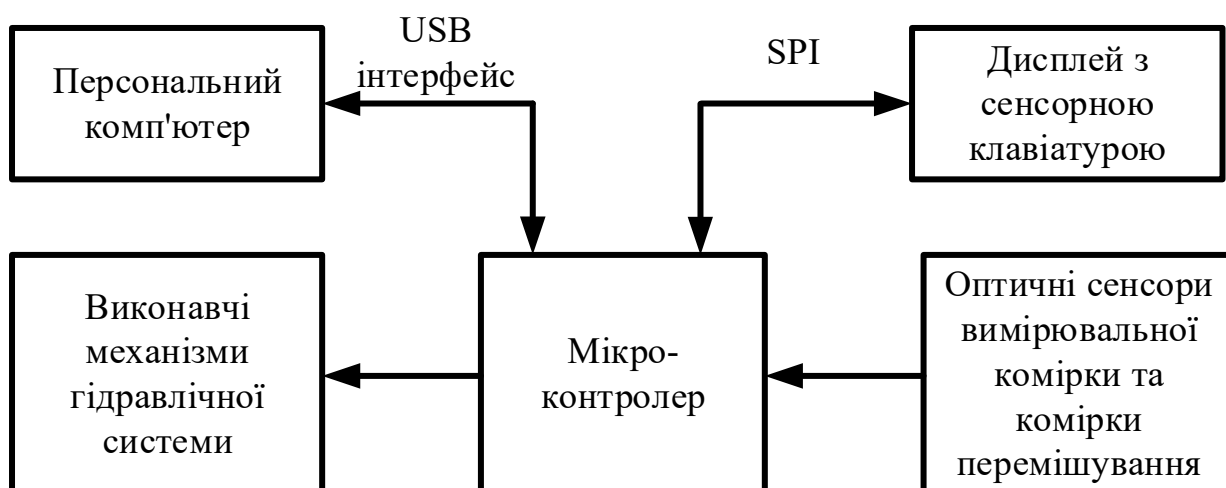


Рисунок 3.5 – Структурна схема електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації часток в розчині

Електронний пристрій може працювати як в автономному режимі, так і під час керування від персонального комп'ютера. У автономному режимі спочатку здійснюється ініціалізація сенсорної клавіатури, а під час керування від комп'ютера початок роботи задає він. Електронний пристрій пов'язаний з персональним комп'ютером USB-CAN адаптером. До набору макросів керування, які застосовуються в USB інтерфейсі, входять: команди пересилання та зберігання констант до енергонезалежної пам'яті мікроконтролера, команди цифрової передачі вимірювальної інформації від оптико-електронних сенсорів, керування сенсорним дисплеєм, команди керування виконавчими пристроями. Набір констант забезпечує роботу електронного пристрою під час виконання вимірювального контролю, а також допоміжних операцій.

Діапазон частот фотометричного сигналу знаходиться в межах від 0 до декількох герц, тому на виході базового оптико-електронного сенсору електронного пристрої застосовується апаратний фільтр низької частоти зі заданою частотою зрізу.

Оптико-електронний сенсор має в своєму складі аналоговий перетворювач вихідної наружи до частоти. Значення частоти, величина якої є пропорційною від зміни вихідного сигналу сенсору, накопичується в лічильнику, який має функцію калібрувального стробу за максимально можливий проміжок часу. Значення частоти зрізу цього фільтра є зворотно пропорційною величиною від тривалості часу накопичення. Амплітудно-частотна характеристика фільтра має прямокутну форму. Якщо розмір частинок становить 2 мкм, то величина часу релаксації не більше 4 с. Якщо кількість точок релаксаційної кривої дорівнює 16, то величина тривалості стробу не перевищує 250 мс, а значення частоти зрізу фільтра становить 4 Гц. Основним джерелом шуму є шум, який має спектральну щільність $1/f$.

Як виконавчі механізми в електронному пристрої застосовуються насоси та двигун для приводу циліндра вимірювальної комірки. Двигун приводу здійснює гальмування блоку циліндрів вимірювальної комірки. Під час подачі до обмотки двигуна типу MAXON 4350 електричного струму, величина якого

протилежна за знаком струму під час його штатного режиму роботи, дозволяє зменшити проміжок часу на гальмування від 0,1 до 0,15 с.

У електронному пристрої застосовується кольоровий сенсорний дисплей типу TE-ULCD 35, діагональ якого 3,5". Роздільна здатність дисплею становить 320x240 пікселів. Дисплей розроблено на базі мікроконтролера типу LPC2478. Дисплей має флеш-пам'ять, об'ємом якої складає 4 МБайта, а також SDRAM з об'ємом 8 Мбайт. Дисплей відображає символічну та графічну інформацію, а також дозволяє сформувати сенсорну клавіатуру на частині свого екрана. Обмін інформаційними даними між основним мікроконтролером та мікроконтролером дисплея здійснюється зі застосуванням SPI інтерфейсу. Програмування мікроконтролера дисплея виконується зі застосуванням скриптів, що завантажуються до дисплея. Програмування контролера дисплея виконується зі застосуванням графічних віджетів і примітивів. До пам'яті програм контролера під час його виготовлення завантажують бібліотеку, яка має графічні функції. Це істотно спрощує як формування графічного зображення, так і обслуговування екрана.

Бібліотека має в своєму складі такі віджети: меню, вікно, панель статусу, панель інструментів, кнопка та список. Параметри віджета, які можна змінювати, зберігаються в контейнері. Для виведення цих параметрів необхідно звернутися до контейнера.

Керувати формуванням інформаційних повідомлень на сенсорному дисплеї можна комбіновано. Фонові статичні картинки зберігаються як формат bmp у постійній пам'яті мікроконтролера, їх завантажують до віджетів зі застосуванням скриптів. Програмне забезпечення дисплея може виводитися та зберігатися на карті micro CD. Перенесення bmp зображень до екрану дисплея здійснюється зі застосуванням внутрішньої шини, тому перенесення зображення мінімізовано.

Виміряні значення параметрів переносяться для відображення на дисплеї зі застосуванням SPI інтерфейсу за допомогою ASCII коду для здійснення завантаження до віджетів вікна, списку або для формування вимірювальних

точок на графіку. Команди, які передаються за SPI інтерфейсом, є командами керування, які є доволі короткими. Отже, керування роботою дисплея займає відносно короткий проміжок часу.

Керування автономною версією електронного пристрою виконується зі застосуванням сенсорної клавіатури, яка генерується на поверхні дисплея. Для генерування цієї клавіатури застосовується контейнер, який має кнопки, меню та панель інструментів. Під час натискання кнопок включається переривання роботи мікроконтролера дисплея та формується інформаційне повідомлення за інтерфейсом SPI.

3.3 Розробка програмного забезпечення вимірювального пристрою

У режимі вимірювання вибираються базові параметри: тривалість вимірювальних інформаційних даних, частота обертання циліндра комірки, кількість циклів накопичення інформаційних даних, тип алгоритму реєстрації вимірювальних даних.

Зі застосуванням кнопок керування здійснюється підготовка електронного пристрою до здійснення процедури вимірювань – промивання рідиною комірки, очищення та заповнення вимірювальної комірки зразком, що досліджується. Після запуску програма зі застосуванням макросів починається процес вимірювань. У залежності від алгоритму реєстрації інформаційних даних, які записуються та накопичуються в пам'яті мікроконтролера, виконується їх перенесення з електронного пристрою до персонального комп'ютера протягом регламентованого проміжку часу накопичення результатів вимірювання для побудови точкового графіку на дисплеї.

Інформаційні данні автоматично заносять до бази та зберігаються їх. Ці данні є одиночними записами, що мають унікальний ідентифікатор з поточною датою та часом здійснення вимірювання. У алгоритмі передбачено запис одиночних циклів, а також масивів, які мають серію одиночних циклів.

Операції з відбирання аналізованої проби, промивання вимірювальної комірки розчином або водою, заповнення вимірювальної комірки суспензією здійснюється в автоматичному режимі. Після кожного циклу вимірювання за результатами експериментальних досліджень визначається середнє значення розміру частинок та концентрація частинок.

Процедура приготування неорганічних частинок, а також вид об'єктів визначає можливу залежність розподілу розмірів частинок. Під час визначення розмірів частинок застосовуються нормальний, логарифмічно-нормальний, Релєєвський розподіл, а також усічений розподіл для біологічних типів об'єктів дослідження.

Інформаційні данні щодо попередніх і поточних результатів вимірювання можна переглядати у формі попереднього перегляду. Для аналізу та порівняння інформаційних даних від декількох процесів їх можна послідовно виводити на діаграму. У алгоритмі передбачено експортування інформаційних даних з внутрішньої бази до Excel.

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз теоретичних, методичних і апаратних питань щодо визначення розмірів і концентрації частинок у середовищах, які є штучно створеними, зі застосуванням гідродинамічного методу, що мають анізотропні оптичні властивості, що стало базою для розробки електронного пристрою вимірювального контролю параметрів розчинів.

Розроблений конструктив вимірювальної комірки для визначення низьких концентрацій частинок. На базі запропонованого старт-стопового режиму роботи розроблено алгоритм фільтрації результатів вимірювання.

Розроблено електронний вимірювальний пристрій для визначення розмірів і концентрації частинок на базі гідродинамічної орієнтації в потоці.

Розглянуто питання щодо проектування вимірювальної комірки та базових функціональних вузлів електронного пристрою вимірювання розмірів і концентрації частинок, що дозволило реалізувати підключення та з'єднання різних складових блоків електронного пристрою.

Систематизовано область використання електронного пристрою та його програмної компоненти. До переваг розробленого електронного пристрою можна віднести відсутність процедури підготовки проби, незначний вплив процедури вимірювання на частинки, доволі широкий діапазон вимірюваних значень концентрації частинок, можливість здійснювати накопичення результатів вимірювання, що обумовлює конкурентні переваги цього вимірювача у порівнянні з аналогами, які застосовуються для таких типів вимірювальних процедур.

Результати роботи створило передумови для створення електронного пристрою вимірювального контролю розмірів і концентрації частинок для лабораторних умов, а також моніторингу промислових процесів і вимірювального контролю параметрів навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лопатин, В.Н. Введение в оптику взвесей клеток / В.Н. Лопатин, Ф.Я. Сидько. – Новосибирск: Наука, 1988. – 240 с.
2. Хлебцов, Н.Г. Оптические эффекты в ориентированных дисперсных системах. Стационарный дихроизм в аксиально ориентированных дисперсиях мелких и крупных частиц / Н.Г. Хлебцов, А.Г. Мельников // Оптика и спектр. 1989. – №67(2). – С. 389 – 394.
3. Сирота, А.И. Оптические механизмы электрооптических явлений в дисперсных системах. Ослабление света произвольно ориентированным сфероидом / А.И. Сирота, Н.Г. Хлебцов // Оптика и спектр. 1980. – №4. – С. 796 – 801.
4. Мирошников, А.И. Электрофизический анализ и разделение клеток / А.И. Мирошников, В.М. Фомченков, А.Ю. Иванов. – М.: Наука, 1986. – 184 с.
5. Тихонов, А.Н. Статистическая обработка результатов экспериментов / А.Н. Тихонов, Н.В. Уфимцев. – М.: МГУ, 1988. – 174 с.
6. Фрайфелдер, Д. Физическая биохимия / Д. Фрайфелдер. – М.: Мир, 1980. – 588 с.
7. Хюлст, Ван дер. Рассеяние света малыми частицами / Ван дер Хюлст. – М.: ИЛ, 1961. – 380 с.
8. Goldstein, J. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis / J. Goldstein. – Berlin, NY, London: Springer, 2003. – 675 p.
9. Rentz, J. Real Time Particulate Mass Measurement Based on Laser Scattering / J. Rentz, D. Mansur, R. Vaillancourt etc. – NL: OPTRA Inc., 2002. – 511 с.
10. Varadan, V.V. Anisotropic dielectric properties of media containing aligned nonspherical scattering / V.V. Varadan, Y. Ma, V.K. Varadan // IEEE Trans. Anten. Propag, 1985. – №8. – P. 886 – 890.
11. Mishchenko, M.I. T-matrix computations of light scattering by

nonspherical particles: a review / M.I. Mishchenko, L.D. Travis, D.W. Mackowski // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 1996. – № 55(5). – P. 535 – 575.

12. Meeten, G.H. An anomalous diffraction theory of linear birefringence and dichroism in colloidal dispersion / G.H. Meeten // J. Colloid Interface Sci, 1982. – № 87(2). – P. 407 – 415.

13. Хлебцов Н. Спектротурбидиметрия дисперсных систем при учете спектральной зависимости коэффициентов преломления / Н. Хлебцов, Ф. Мельников, С. Щеголев // Коллоидный журнал, 1991 – № 53(5). – С. 928 – 933.

14. De la Torre, G. Hydrodynamic properties of macromolecular complex / G. De la Torre, V.A. Blumfield // II Rotation. Biopolymer, 1977. – № 16. – P. 1765 – 1778.

15. Graham, M. The Coulter Principle: Foundation of Industry / M. Graham // Journal of the Association for Laboratory Automation, 2003. – № 8(6). – P. 72 – 81.

16. Riebel, U. The Fundamentals of Particle Size Analysis by means of Ultrasonic Spectrometry / U. Riebel, F. Löffler // Part.Part. Syst. Charact., 1989. – №6. – P. 135 – 143.

17. Prima, R.Di. Instabilities and transition in flow between concentric rotating cylinders / R.Di. Prima, H. Swinney // Topics in Applied Physics, Hydrodynamic Instabilities and the Transition to Turbulence. – Berlin: Springer, 1985. – P. 139 – 180.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об’ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$