

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Владислав ШЛИКОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»**

**спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**на тему: «Прототип програмно-апаратного комплексу для вивчення  
електрокінетичних характеристик еритроцитів крові»**

Виконав:

студент IV курсу, групи БМ-92

Козленко Єгор Анатолійович \_\_\_\_\_

Керівник:

к.б.н., доц. кафедри БМІ

Калашнікова Лариса Євгеніївна \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:

доц. каф. ОПЦБ, к.т.н.

Демчук Гліб Вікторович \_\_\_\_\_

Рецензент:

асс. кафедри ББЗЛ

Білевич Денис Андрійович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет біомедичної інженерії**  
**Кафедра біомедичної інженерії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма «Медична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Владислав ШЛИКОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Козленка Єгора Анатолійовича**

1. Тема роботи «Прототип програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові», керівник роботи Калашнікова Лариса Євгеніївна, к.б.н., доц. кафедри БМІ, затверджені наказом по університету від «31» травня 2023р. № 2106-с
2. Термін подання студентом роботи: 09 червня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: відомості про дисперсні системи, як джерело існування явища дзета-потенціалу, дзетаметричний метод дослідження та його поширення, загальна характеристика приладів для дзетаметрії
4. Зміст роботи: огляд літературних джерел за темою, ознайомлення з існуючими методиками дзетаметричних досліджень, розробка моделі камери для досліджень електрокінетичних характеристик еритроцитів крові та прототипу програмно-апаратного комплексу, аналіз небезпек при експлуатації програмно-апаратного комплексу
5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація у програмному середовищі Microsoft Power Point

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Демчук Г.В. доцент кафедри «Охорона праці, промислової та цивільної безпеки»		

## 7. Дата видачі завдання: 5 квітня 2023

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдання на ДР	05.04.2023	
2.	Огляд літератури за темою	06.04 – 06.05.2023	
3.	Розробка моделі камери для досліджень в середовищі SolidWorks	08.05 – 13.05.2023	
4.	Аналіз та оформлення результатів	15.05 – 20.05.2023	
5.	Оформлення розділу «Охорона праці»	05.06.2023	
6.	Оформлення ДР	07.06.2023	
7.	Проходження нормоконтролю	08.06.2023	
8.	Отримання рецензії та відгуку керівника	08.06 – 09.06.2023	
9.	Подання пакету документів по дипломній роботі до захисту	09.06.2023	
10.	Захист дипломної роботи	24.06.2023	

Студент \_\_\_\_\_

Єгор КОЗЛЕНКО

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Лариса КАЛАШНІКОВА

## АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Прототип програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові».

Обсяг дипломної роботи складає 51 сторінку, містить 22 ілюстрації, 17 таблиць. Загалом опрацьовано 28 літературних джерел.

Актуальність: Всебічне дослідження клітини є актуальним для вивчення патогенезу багатьох захворювань, розробки нових ефективних процесів для потреб біотехнології. Саме в клітинах починаються патологічні зміни, які призводять до виникнення захворювань, оскільки будь-яке захворювання це зрештою збій функціонування клітин. Показником стабільності поверхні клітин є величина дзета-потенціалу. Метод оцінки цієї фізичної характеристики може бути використаний у дослідженнях функцій еритроцитів, терапії та діагностики стану мікроциркуляції крові, контролю лікування та прогнозуванні, оскільки реологічні параметри крові розглядаються як діагностичні та прогностичні ознаки.

Мета: підвищення ефективності електрокінетичних характеристик еритроцитів крові в первинній діагностиці при стрес-реакції.

Завдання:

1. Проаналізувати літературні джерела на тему електрокінетичних явищ в колоїдних розчинах та застосування електрофоретичних досліджень.
2. Ознайомитись з положеннями теорії Смолуховського.
3. Ознайомитись з будовою та характеристиками приладів для виміру поверхневого заряду клітин.
4. Створити модель камери для дослідження електрокінетичних характеристик крові та розробити прототип програмно-апаратного комплексу.

Ключові слова: електрофоретична рухливість, дзетаметрия, дзета-потенціал, електрофорез, електрокінетичні явища.

## ANNOTATION

Topic of diploma: "Prototype of hardware and software complex for studying electrokinetic characteristics of blood erythrocytes".

The volume of the report is 51 pages, contains 22 illustrations, 17 tables. In total, 28 literary sources were processed.

Relevance: A comprehensive study of the cell is relevant for the study of the pathogenesis of many diseases, the development of new efficient processes for the needs of biotechnology. It is in the cells that pathological changes begin that lead to diseases, since any disease is ultimately a failure of cell function. An indicator of cell surface stability is the value of the zeta potential. The method of assessing this physical characteristic can be used in studies of red blood cell function, therapy and diagnosis of blood microcirculation, treatment monitoring and prognostication, since blood rheological parameters are considered as diagnostic and prognostic signs.

Objective: to improve the efficiency of the electrokinetic characteristics of blood erythrocytes in the primary diagnosis of stress response.

Task:

1. Analyze the literature on electrokinetic phenomena in colloidal solutions and the use of electrophoretic studies.
2. To familiarize with the provisions of the Smoluchowski theory.
3. To familiarize with the structure and characteristics of devices for measuring the surface charge of cells.
4. Create a model of a chamber for studying the electrokinetic characteristics of blood and develop a prototype of a software and hardware complex.

Key words: electrophoretic mobility, zetametry, zeta potential, electrophoresis, electrokinetic phenomena.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	8
1.1 Дисперсні системи та їх особливості .....	8
1.2 Електрокінетичні явища в дисперсних системах та їх застосування .....	13
1.3 Прилади для вимірювання дзета-потенціалу .....	26
Висновки до розділу 1 .....	29
<b>РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ</b> .....	30
2.1 Програмне забезпечення .....	30
2.2 Створення та опис макету прототипу .....	30
<b>РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	40
3.1 Характеристики прототипу комплексу .....	40
3.2 Оцінка потенційних небезпек що створюються конструкцією комплексу, який проектується, та заходи їх усунення .....	42
3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки та експлуатації програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові» .....	46
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	48
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	49

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ			
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		Козленко Є.А.			Прототип програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>		Калашнікова Л.Є.					6	51
<i>Реценз.</i>		Білевич Д.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-92		
<i>Н. Контр.</i>		Андреев П.І.						
<i>Затвердив</i>		Шликов В.В.						

## ВСТУП

Актуальність: Всебічне дослідження клітини є актуальним для вивчення патогенезу багатьох захворювань, розробки нових ефективних процесів для потреб біотехнології. Саме в клітинах починаються патологічні зміни, які призводять до виникнення захворювань, оскільки будь-яке захворювання це зрештою збій функціонування клітин. Показником стабільності поверхні клітин є величина дзета-потенціалу. Метод оцінки цієї фізичної характеристики може бути використаний у дослідженнях функцій еритроцитів, терапії та діагностики стану мікроциркуляції крові, контролю лікування та прогнозуванні, оскільки реологічні параметри крові розглядаються як діагностичні та прогностичні ознаки.

Мета: підвищення ефективності електрокінетичних характеристик еритроцитів крові в первинній діагностиці при стрес-реакції.

Завдання:

1. Проаналізувати літературні джерела на тему електрокінетичних явищ в колоїдних розчинах та застосування електрофоретичних досліджень.
2. Ознайомитись з положеннями теорії Смолюховського.
3. Ознайомитись з будовою та характеристиками приладів для виміру поверхневого заряду клітин.
4. Створити модель камери для дослідження електрокінетичних характеристик крові та розробити прототип програмно-апаратного комплексу.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Дисперсні системи та їх особливості

Дисперсна система є сумішшю, що складається принаймні з двох речовин, які хімічно не взаємодіють між собою та майже не розчинні одна в одній. Наприклад, не можна отримати дисперсну систему шляхом змішування натрій хлориду або цукру з водою. Однак, якщо ці сполуки змішати з гасом або бенzenом, в яких вони практично не розчиняються, утворюється дисперсна система. Тому дисперсна система складається принаймні з двох компонентів, які відповідно називаються дисперсною фазою та дисперсійним середовищем.

Дисперсна система характеризується рівномірним розподіленням дуже дрібних частинок однієї речовини в об'ємі іншої. Дисперсна фаза представляє собою подрібнену речовину, яка однорідно розподілена в межах іншої речовини. Дисперсійне середовище вважається таким, якщо в ньому частинки дисперсної фази рівномірно розподілені. Важливою ознакою дисперсійного середовища є його безперервність, що забезпечує стійкість дисперсної системи.

Дисперсну фазу можна відділити від дисперсійного середовища за допомогою фізичного впливу (наприклад, центрифугуванням, сепаруванням, відстоюванням та ін.) [3, 16].

Дисперсні системи класифікують за наступними ознаками: ступенем дисперсності, агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища, інтенсивності взаємодії між ними, фізичним станом.

Залежно від розмірів частинок дисперсної фази дисперсні системи умовно поділяються на три групи:

Грубодисперсні (мікрогетерогенні) – це дисперсні системи, розмір частинок яких більший за 1-10 мкм ( $10^{-6}$  –  $10^{-5}$ м). Ця група характеризується певними ознаками, а саме: частинки дисперсної фази осідають (або спливають)

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

у полі гравітаційних сил; вони не проходять крізь паперові фільтри; їх можна роздивитися у звичайному мікроскопі. До них належать суспензії, емульсії, пил, піна тощо.

Суспензія – це дисперсна система, в якій дисперсною фазою є тверда речовина, а дисперсійним середовищем – рідина.

Емульсія – це дисперсна система, в якій рідка дисперсна фаза рівномірно розподілена в об'ємі рідкого дисперсійного середовища.

При відстоюванні суспензії та емульсії розділяються (розшаровуються) на складові частини: дисперсну фазу і дисперсійне середовище.

Піна це комірчаста грубодисперсна система, в якій дисперсною фазою виступає сукупність бульбашок газу або пари, а дисперсійним середовищем – рідина.

Мікрогетерогенні (тонкодисперсні) проміжні системи з розміром частинок  $10^{-5}$ –  $10^{-7}$  м. До них належать тонкі зависі, дими, поруваті тверді тіла.

Ультрамикрогетерогенні (колоїдно-дисперсні) системи, в яких частинки мають розміри 1–100 нм ( $10^{-9}$  –  $10^{-7}$  м) і між ними та розчинником виникає поверхня поділу. Колоїдні розчини характеризуються гранично-високодисперсним станом і їх зазвичай називають золями або часто ліозолями, щоб підкреслити, що дисперсійним середовищем є рідина. Якщо дисперсійним середовищем виступає вода, то такі золі називають гідрозолями, а якщо органічна рідина – органозолями [4, 13, 16].

Для більшості колоїдних розчинів властиві такі загальні ознаки:

- Частинки дисперсної фази мають невелику швидкість дифузії та не здатні проникнути через напівпроникні мембрани. Вони можуть бути видимі тільки за допомогою електронного мікроскопа;
- Колоїдні частинки розсіюють світло, що призводить до появи світлих плям у безперервному хаотичному русі – явищі відомому як ефект Тіндаля;

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Наявність стабілізаторів (електролітів), які формують на поверхні частинок йонний шар або сольватну оболонку. Це забезпечує стійкість частинок у суспендованому стані;
- Дисперсна фаза має низьку розчинність у дисперсійному середовищі [5-7].

В таблиці 1.1 наведений розподіл дисперсних систем за агрегатним станом:

Таблиця 1.1 – Дисперсні системи за агрегатним станом

Дисперсна фаза	Дисперсне середовище	Позначення системи	Приклад
Газ	Газ	Г/Г	Атмосфера Землі
Рідина	Газ	Р/Г	Туман, хмари
Тверде тіло	Газ	Т/Г	Порошки, пил, дим
Газ	Рідина	Г/Р	Піни
Рідина	Рідина	Р/Р	Емульсії
Тверде тіло	Рідина	Т/Р	Суспензії
Газ	Тверде тіло	Г/Т	Тверді піни
Рідина	Тверде тіло	Р/Т	Гелі
Тверде тіло	Тверде тіло	Т/Т	Скло, мінерали

Залежно від інтенсивності взаємодії між молекулами, дисперсні системи можна розділити на ліофільні та ліофобні. Цей поділ є характерним для систем з рідким дисперсійним середовищем.

Ліофільні системи відрізняються характерною рисою - сильно розвиненою поверхнею дисперсної фази та інтенсивною взаємодією з молекулами рідкого середовища. Ця взаємодія проявляється в притяганні молекул рідини до частинок дисперсної фази, утворюючи сольвати. Ліофільні системи мають термодинамічну стійкість і низький поверхневий натяг. На їх поверхні краплина рідини розтікається, утворюючи тонку плівку. Ліофільні частинки легко змочуються рідким середовищем і за певних умов навіть можуть розчинятися в ньому.

Ліофобні системи, натомість, характеризуються слабкою взаємодією дисперсної фази з дисперсійним середовищем та термодинамічною нестійкістю. Частинки дисперсної фази не розчиняються, не змочуються і не набухають у

рідкому середовищі, а навпаки, відштовхують його. Тому краплина рідини, нанесена на їх поверхню, не розтікається, а утворює лінзу. У ліофобних системах взаємодія між молекулами різних фаз значно слабкіша, ніж у ліофільних системах, а міжфазовий поверхневий натяг більший, що призводить до тенденції системи до коагуляції - самочинного злипання частинок.

За фізичним станом дисперсні системи поділяють на вільнодисперсні та зв'язанодисперсні (або суцільні).

Вільнодисперсні системи представляють собою золі, де дисперсна фаза не утворює жорстких структур, а зберігає текучість. Частинки дисперсної фази рухаються неупорядковано і вільно переміщуються під дією сили тяжіння. До цієї категорії належать аерозолі, ліозолі, розведені суспензії та емульсії. Прикладами вільнодисперсних систем є системи у газах з колоїдною дисперсністю, такі як пил у верхніх шарах атмосфери або аерозолі, а також дисперсні системи у рідинах, наприклад, латекси синтетичних полімерів. Також вільнодисперсними можуть бути дисперсні системи у твердих тілах, наприклад, тверді золі, які містять пігментовані волокна або наповнені полімери.

Зв'язанодисперсні або суцільні системи відрізняються тим, що частинки дисперсної фази утворюють жорсткі просторові структури, які надають системі міцності. Ці системи мають твердоподібну форму і утворюються при контакті частинок дисперсної фази. Вони утворюють структури у вигляді каркасу або сітки, які обмежують текучість дисперсної системи і зберігають її форму. Такі структуровані колоїдні системи називають гелями. Прикладами зв'язанодисперсних систем є дисперсні системи з рідкою поверхнею поділу фаз, такі як піни або піноподібні емульсії. Також ця категорія включає дисперсні системи з твердою поверхнею поділу фаз, наприклад, поруваті тіла, натуральні волокна, губку, деревне вугілля або вологу, що міститься у граніті.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисперсні системи проявляють ряд характерних рис, серед яких можна виділити наступні:

- Броунівський рух, який характеризується хаотичним пересуванням колоїдних частинок, що набувають кінетичного руху при зіткненні з молекулами оточуючого середовища;
- Дифузія, яка є процесом самовільного вирівнювання концентрації диспергованої речовини під дією теплового руху частинок розчинника;
- Осмотичний тиск, що спостерігається у системах з напівпроникними мембранами. Колоїдні розчини з великими частинками створюють менший осмотичний тиск, порівняно з іонними або молекулярними розчинами;
- Седиментація, процес осадження частинок під впливом сили земного тяжіння. Цей процес протилежний до дифузії і призводить до утворення градієнту концентрації, в той час як дифузія сприяє вирівнюванню концентрації;
- В'язкість, яка виникає внаслідок внутрішнього тертя між шарами розчину, які рухаються відносно один одного. Поряд з в'язкістю існує також поняття текучості, яке є оберненим явищем до в'язкості.

За певних обставин частинки в дисперсії можуть злипатися одна з одною і утворювати агрегати послідовно зростаючого розміру, які можуть осідати під дією сили тяжіння. Початково утворений агрегат називається флокулою, а процес його утворення - флокуляцією. Флокула може осідати, не осідати або розділятися на фази. Якщо агрегат переходить у більш щільну форму, кажуть, що він піддається коагуляції. Зазвичай агрегат відокремлюється або шляхом седиментації (якщо він має більшу густину, ніж середовище), або шляхом спінювання (якщо він має меншу густину, ніж середовище).

Терміни флокуляція і коагуляція часто використовуються як взаємозамінні. Їхній взаємозв'язок відображений на рис 1.1:

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

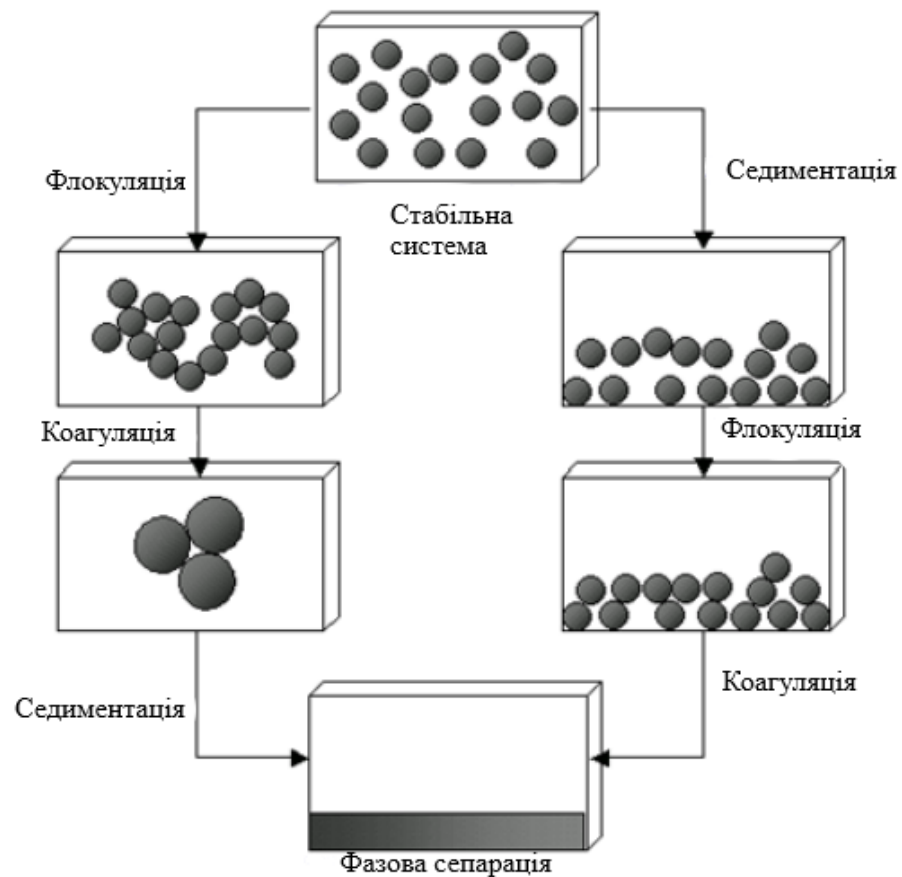


Рисунок 1.1 – Взаємозв’язок механізмів флокуляції та коагуляції  
Також однією з важливих характеристик дисперсних систем є існування в них електрокінетичних явищ.

## 1.2 Електрокінетичні явища в дисперсних системах та їх застосування

Електрокінетичні явища є наслідком наявності подвійного електричного шару (ПЕШ) на межі розподілу фаз дисперсних систем. У цих явищах дифузна частина ПЕШ здатна переміщуватися відносно нерухомої частини, яка зв'язана електростатично та адсорбційно. Електричний заряд виникає в результаті вибіркової адсорбції іонів електроліту або поверхневої дисоціації функціональних груп на поверхні частинок дисперсної фази.



На рисунку 1.2 літерою  $\delta$  позначено товщину шару Гельмгольца,  $\lambda$  – товщина шару Гуї-Чепмена, яка являє собою відстань, на якій потенціал  $\varphi_\delta$  зменшується в  $e$  разів.

Основними електрокінетичними явищами є електрофорез, електроосмос, потенціали течії і седиментації.

Широке поширення в якості дослідницького методу отримав саме електрофорез за його простоту і ефективність. Механізм електрофорезу полягає в тому, що під дією електричного поля ПЕШ частинок дисперсної фази розривається на межі ковзання, частинка набуває певного заряду і переміщується до протилежно зарядженого електрода, а протиіони дифузного шару рухаються у протилежний бік. Лінійна швидкість переміщення зарядженої частинки (або ж дисперсної фази)  $\mu$  визначається за рівнянням Гельмгольца – Смолуховського:

$$\mu = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \zeta}{\eta}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність середовища,  $\varepsilon_0$  – електрична стала ( $8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ ),  $\eta$  – динамічна в'язкість (Па · с),  $\zeta$  – дзета-потенціал (В).

У біохімії за допомогою електрофорезу проводять аналіз, розділення й очищення біополімерів (головним чином білків), бактеріальних клітин, вірусів, а також амінокислот, вітамінів та ін. Існує кілька основних видів електрофорезу, а саме: зональний (або капілярний) електрофорез, електрофорез на папері та електрофорез в гелі. Кожен з цих методів має своє поширення в тій чи іншій сфері.

Високоєфективним способом аналізу складних сумішей є застосування капілярного електрофорезу, який базується на розділенні й аналізі компонентів. Цей метод передбачає введення невеликого об'єму проби у кварцовий капіляр, заповнений електролітом. Уздовж капіляра створюється високовольтне електричне поле, яке ініціює рух компонентів суміші з різною швидкістю

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист 15
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

залежно від їх структури, заряду та молярної маси. Також виникає пасивний потік рідини, що сприяє розділенню проби на окремі компоненти [11, 12].

Щодо електрофорезу на папері, то він заснований на наступному принципі. Смужку фільтрувального паперу просочують буферним розчином, а на один з її кінців наносять суміш білків. Після цього до обох кінців смужки під'єднують катод та анод джерела постійного струму. Оскільки білки мають різний заряд, вони рухаються з різною швидкістю під впливом електричного поля, що призводить до їх розділення та забезпечує можливість аналізу. Типова конструкція камери для електрофорезу на папері зображена на рис. 1.3:

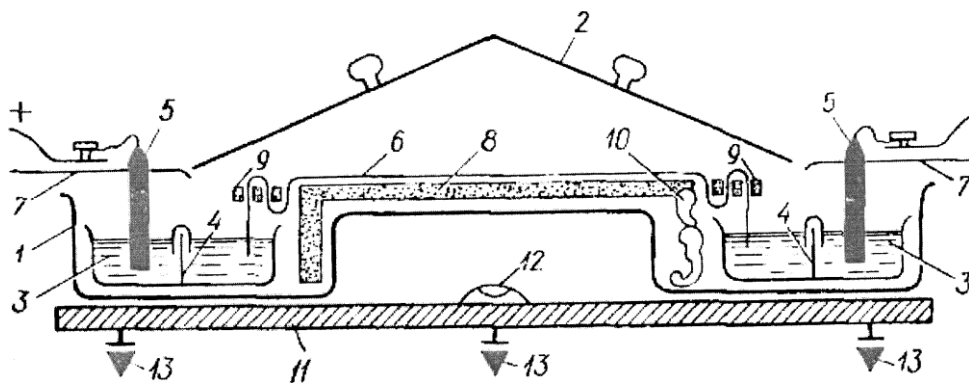


Рисунок 1.3 – Будова камери для електрофорезу на папері

На рис. 1.3 цифрою 1 позначено скляну ванну, 2 – скляна кришка, пришліфована до ванни; 3 – електродні кювети; 4 – поздовжня перегородка, що розділяє кювету навпіл; 5 – вугільні електроди; 6 – паперові смужки, кінці яких опускаються у внутрішнє відділення кювети; 7 – змінні пластинки, до яких приєднуються електроди (приєднуються до ванни за допомогою двох пружин); 8 – рама, до якої прикріплюються і натягуються паперові смужки; 9 – лабіринт для закріплення паперових смуг; 10 – пружини для натягування паперових смужок; 11 – підставка для ванни; 12 – рівень на підставці; 13 – гвинти для регулювання рівня.

Одним з ефективних методів дослідження є використання електрофорезу в гелях (агарозний, поліакриламідний та інші).

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист 16
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Гелі представляють собою сітчасті структури, що функціонують як молекулярні сита. Розмір пор у гелі визначає, які білки можуть проходити через нього, а які затримуються на більш тривалий час. Таким чином, електрофорез в гелях дозволяє розділяти молекули не лише за їхнім зарядом, але й за розміром. Електрофорез в агаровому гелі, зокрема, є одним із методів аналізу структури ДНК та РНК. Цей метод широко використовується в проведенні полімеразної ланцюгової реакції, яка дозволяє виявляти віруси та генетичні мутації. На рис. 1.4 можна побачити зовнішній вигляд пластинки агарозного гелю зі смугами ДНК після проведення процедури:

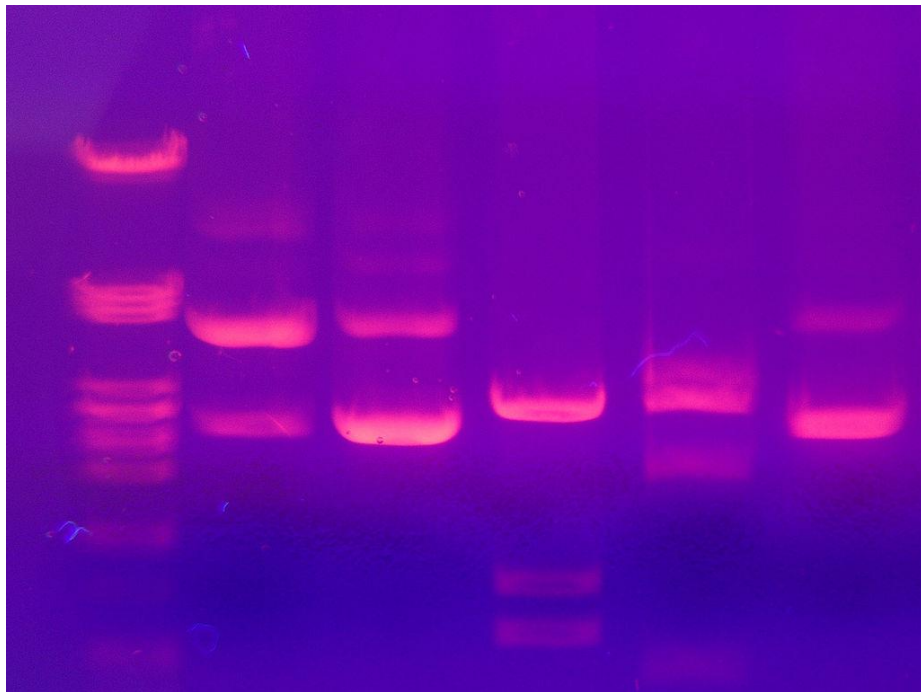


Рисунок 1.4 – ДНК в пластинці агарозного гелю

Для кращої візуалізації отриманих результатів метод гелевого електрофорезу використовують у поєднанні з методом хроматографії. На рис. 1.5 зображено вигляд типової камери для вертикального гелевого електрофорезу:

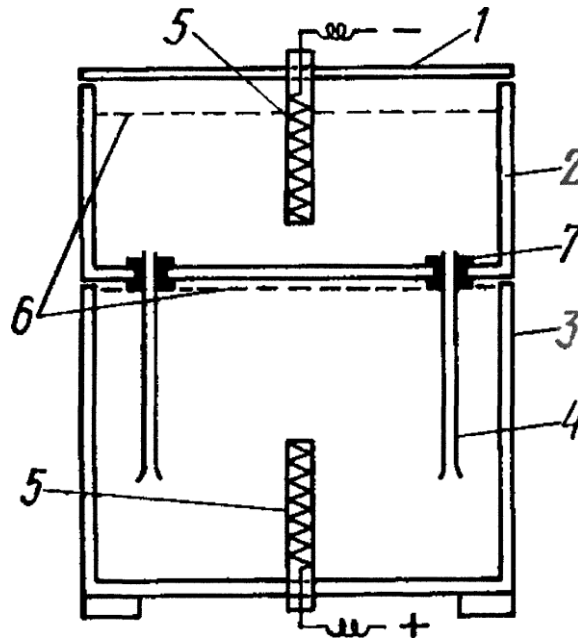


Рисунок 1.5 – Камера для гелевого електрофорезу

На рис. 1.5 цифрою 1 позначено кришку апарату; 2 – верхня частина; 3 – нижня частина; 4 – трубка з гелем; 5 – електрод; 6 – рівень буферної суміші; 7 – ущільнююча гумова муфта.

Електрофоретичний аналіз біологічних рідин, зокрема сироватки крові, широко використовується для вивчення білків та діагностики різних захворювань [17, 18]. Спостереження за переміщенням кров'яних клітин в електричному полі дозволяє оцінити не лише їх електрокінетичний потенціал та морфофункціональний стан мембран, але й гомеостаз інших систем організму. Наприклад, зниження негативного заряду та електрофоретичної рухливості еритроцитів (далі - ЕФРЕ) корелює зі швидкістю процесу їх агрегації, що свідчить про порушення реологічних властивостей крові, включаючи зміну в'язкості, структури та ініціювання тромбоутворення [19]. Дослідження також виявили певні зв'язки між зміною ЕФРЕ крові та різними видами патології у хворих [20-22]. Цікаво, що аналіз літературних даних підтверджує єдність зміни рухливості еритроцитів - зниження - при різних захворюваннях, таких як гепатит

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





В таблиці 1.5 продемонстровані результати вимірів пацієнтів-чоловіків раннього клімактеричного та пацієнтки-жінки менопаузального віку хворих на В-ЛМЗ:

Таблиця 1.5 – Дзета-потенціал лімфоцитів у зразках периферичної крові пацієнтів із В-ЛМЗ

Чоловіки		Жінка	
Вік	Дзета-потенціал, мВ	Вік	Дзета-потенціал, мВ
49	9.9±0.8	59	11.5±1.0
56	10.4±0.8		

Для порівняння були проведені дослідження з виміру дзета-потенціалу у здорових донорів. В таблиці 1.6 продемонстровані результати вимірів дзета-потенціалу мононуклеарів периферичної крові здорових донорів:

Таблиця 1.6 – Дзета-потенціал мононуклеарів у зразках периферичної крові здорових донорів

Чоловіки		Жінка	
Вік	Дзета-потенціал, мВ	Вік	Дзета-потенціал, мВ
63	9.8±1.2	66	10.1±0.7
56	9.8±0.7		
79	11.6±0.8		

В таблиці 1.7 продемонстровані результати вимірів дзета-потенціалу В-лімфоцитів периферичної крові здорових донорів-чоловіків:





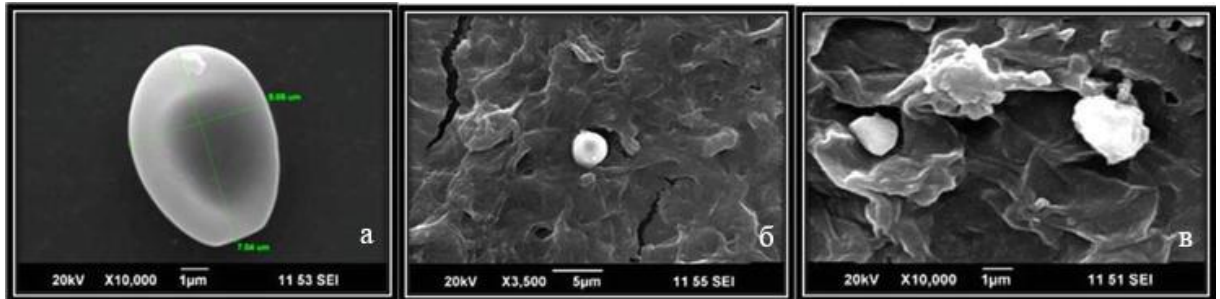


Рисунок 1.7 – Форма еритроцитів при різних станах організму

Додатково був розглянутий вплив оксидативного стресу на мембрани еритроцитів, результати якого зображені на рис. 1.8:

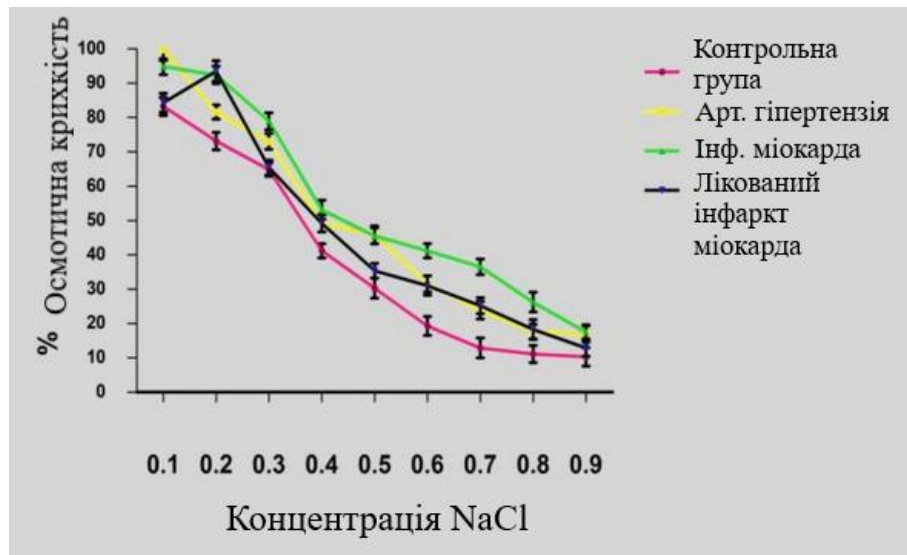


Рисунок 1.8 – Вплив оксидативного стресу на мембрану еритроцитів

Результат дослідження демонструє, що мембрани еритроцитів пацієнтів з артеріальною гіпертензією та інфарктом міокарда є більш осмотично крижкими в порівнянні з мембранами еритроцитів здорової людини.

Розрахунки показали, що в здорових осіб значення дзета-потенціалу коливаються в межах від -20.13 мВ до -26.46 мВ з середнім значенням в -23.39 мВ. Значення дзета-потенціалу у людей, які хворіють на інфаркт міокарда, нижчі і коливаються від -2.58 мВ до -22.76 мВ з середнім значенням в -9.94 мВ в порівнянні зі значеннями пацієнтів з артеріальною гіпертензією – від -12.13 мВ до -19.61 мВ з середнім значенням в -16.06 мВ. Також варто вказати, що пацієнти



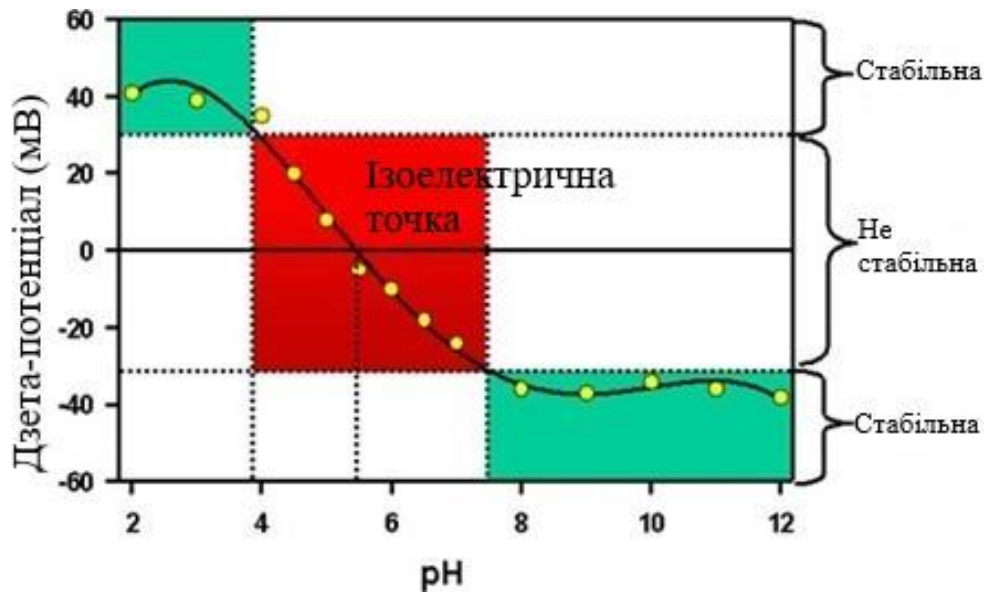


Рисунок 1.10 – Залежність дзета-потенціалу від рН середовища

Як видно з рисунку при рН середовища до 4 та більше за 7.5 система є стабільною при дзета-потенціалі в  $\pm 30$  мВ в той час, як при рН середовища від 4 до 7.5 і особливо при 5.5 система є нестабільною і схильною до агрегації. Саме при рН = 5.5 спостерігається майже повна відсутність дзета-потенціалу.

При збільшенні температури підвищується інтенсивність теплового руху протионів, що призводить до зміни дзета-потенціалу.

При розведенні системи за рахунок зменшення концентрації протионів збільшується товщина ПЕШ і відповідно сам дзета-потенціал, але також може відбуватись десорбція іонів, які визначають потенціал, з поверхні часток дисперсної фази, що призводить до зменшення дзета-потенціалу.

### 1.3 Прилади для вимірювання дзета-потенціалу

Для вимірювання дзета-потенціалу існують спеціальні прилади, які мають назву дзетаметри. Основними виробниками є такі компанії, як Malvern Instruments, Microtrac, Dispersion Technology Inc та інші. Всі вони побудовані на

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





## Висновки до розділу 1

В даному розділі були наведені теоретичні відомості про дисперсні системи, одним з представників яких є кров. Електрофоретична рухливість та дзета-потенціал є одними з найважливіших характеристик мембрани, які описують властивості еритроцитів і можуть виступати одним з маркерів для попередження розвитку патологічних процесів в організмі пацієнта. Це було продемонстровано на прикладах використання дзетаметрії в онкологічних дослідженнях та дослідженнях серцево-судинних захворювань, як додаткові методи оцінки стану пацієнтів, які показали відмінності між показниками у хворих людей та здорових. Окрім цього були наведені відомості, що стосуються показників електрофоретичної рухливості при стресовому стані, гепатиті, пухлинних та запальних процесах. Також були розглянуті особливості роботи та будови деяких приладів-дзетаметрів на прикладах Nanotrac II від компанії Microtrac та Zetasizer Nano від компанії Malvern Instruments. Загальний принцип роботи в них однаковий, проте відрізняється лише будова.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1 Програмне забезпечення

В якості інструменту для 3Д-моделювання камери для дослідження у відповідності з поставленою задачею була обрана програма SolidWorks, в зв'язку з опануванням навчального курсу з відповідної дисципліни, а також тому, що дана програма володіє потрібним інструментарієм для зручного і якісного моделювання та забезпечує наочність, оскільки можна спостерігати і оглядати процес роботи в реальному часі. Також перевагою програми SolidWorks є те, що за бажання можна обрати матеріал, який цікавить, а також провести фізичний аналіз моделі на міцність та витривалість за допомогою спеціальних контекстних меню у верхній панелі.

### 2.2 Створення та опис макету прототипу

Основним недоліком дзетаметрів, принцип роботи яких заснований на лазерному доплерівському електрофорезі, є їхня вартість, яка вимірюється в тисячах доларів, що унеможлиблює їхнє широке використання. В такому випадку варто використовувати мікроскопічний (мікроелектрофоретичний) метод дослідження, який є більш доступним. Такий тип досліджень передбачає за собою використання програмно-апаратного комплексу, блок-схема прототипу якого зображена на рисунку 2.1.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист 30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1 – Блок-схема прототипу програмно-апаратного комплексу для вимірювання електрокінетичних характеристик клітин

Як видно до складу прототипу програмно-апаратного комплексу мають входити спеціальна камера для дослідження, мікроскоп з камерою або екраном, який приєднується до комп'ютера зі спеціалізованим програмним забезпеченням для обробки даних, а також генератор струму.

В якості спеціалізованого програмного забезпечення можна використати, наприклад, AxioVision, яке дозволяє аналізувати клітини за розмірами, структурою та іншими параметрами або програмне забезпечення компанії Zetasizer чи програму ScopePhoto.

Мікроскоп має володіти кількома важливими і основними властивостями: мати вбудовану або змінну камеру та володіти достатнім збільшенням, яке починається від 135 крат. Такі вимоги можуть задовольнити мікроскопи TetraView Celestron LCD (рис. 2.2), MICROmed XS-3330 (рис. 2.3) або Bresser Biolux LCD (рис. 2.4).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мікроскопа TetraView Celestron LCD

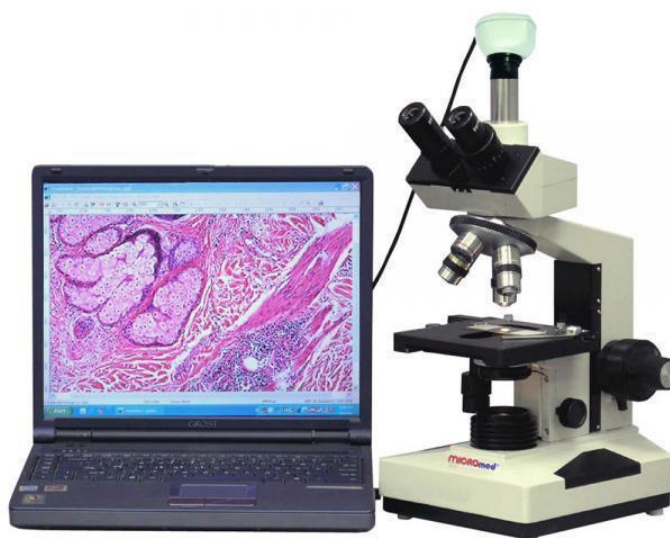


Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд мікроскопа MICROMed XS-3330

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд мікроскопа Bresser Biolux LCD

Як видно з рис. 2.2-2.4 мікроскопи TetraView Celestron LCD та Bresser Biolux LCD обладнані сенсорними екранами діагоналлю 4.3” та 4.35” відповідно. В таблицях 2.1-2.3 наведені деякі важливі характеристики кожного з мікроскопа.

Таблиця 2.1 – Характеристики мікроскопа TetraView Celestron LCD

Назва параметру	Його значення
Збільшення	Від 40x до 400x (до 1600x з цифровим зумом)
Вивід даних	AV/TV-роз’єм
Камера	5 Мп

Особливістю і в той же час мінусом даного мікроскопа є наявність саме AV/TV-роз’єму, який дозволяє виводити картинку на екрани телевізорів або проекторів, що не є зручним для досліджень, а тому потрібен адаптер.





пояснюється тим, що вони мають однакову напругу живлення в 3.3 В. Камера та дисплей TFT 1.8” були обрані через обмеження можливостей ПЗ Fritzing.

Генератором струму може виступати будь-який простий генератор, який може видавати на виході до 300 В змінної або постійної напруги, як-от, наприклад, простенький УИП-2.

Принцип роботи запропонованого комплексу полягає у проведенні електрофоретичного дослідження клітин крові, а саме еритроцитів. Для проведення досліду потрібно підготувати спеціальний розчин, в якому будуть розміщені еритроцити для дослідження. Таким розчином може виступати суміш фосфатного буферу, який має показник рН = 7.4, та 6% розчин глюкози у співвідношенні 1:3, який попередньо нагрівають до температури 20-25 °С. Також потрібно провести відмивання еритроцитів, наприклад, за допомогою ізотонічного розчину хлориду натрію тричі. Потім досліджуваний розчин за допомогою дозатора поміщається в спеціальну камеру у вигляді трубки з органічного скла з горизонтальним капіляром, який розташовується на двох підставках. Аби камера не зміщувалась, варто її зафіксувати за допомогою кількох виступів, які лягатимуть у спеціальні пази. З обох боків камери також приєднуються два агарових місточки у вигляді зігнутих трубок, які іншим кінцем занурені у струмопровідну рідину. Використання таких місточків продиктоване потребою в униканні випадків контакту продуктів електролізу з досліджуваним розчином. Для подання напруги можна використати хлорсрібні електроди. Відповідно до вказаних бажаних характеристик було створено креслення, яке зображено на рис. 2.7.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



струмопровідної речовини; 4 – підставок для камери; 5 – гумових дисків для фіксації; 6 – безпосередньо платформи.

Як видно з креслення камера-капіляр має довжину 130 мм, зовнішній діаметр 4 мм і внутрішній 1.5 мм. Такі розміри зумовлені тим, що дослідження проводиться в стаціонарному шарі рідини, який не рухатиметься під впливом електричного струму. Він знаходиться приблизно на відстані  $r = 0.145 d$  ( $d$  – внутрішній діаметр) відповідно до положень теорії Смолуховського. Також такі розміри дозволяють проводити досліди з більшою кількістю досліджуваного розчину. На поверхні капіляру знаходяться три отвори-вирізи: один по середині і два з боків. Центральний має розміри 16x2 мм і глибину 1.3 мм, а бічні 10x2 мм і глибину 1.5 мм. Центральний виріз слугує «робочим полем», на яке накладається покривне скло і через яке відбувається спостереження. Бічні ж слугують для додавання досліджуваного розчину при його випаровуванні під дією струму.

Агарові місточки мають форму циліндричних трубок довжиною 60 мм з зовнішнім радіусом 4 мм та внутрішнім 2 мм. Ці трубочки попередньо заповнюються застиглим агаром і одягаються поверх, як ковпачки. Саме тому мають муфти довжиною 10 мм для надійної фіксації.

Ванночки для струмопровідної рідини мають розміри 35x35x35 мм і слугують вмістилищем для агарових місточків та електродів.

Підставки для камери слугують фіксаторами і саме тому вони мають з боків невеличкі пази для виступів шириною 3 мм.

Гумові диски слугують доповненням для того, щоб вся конструкція не рухалась під час досліду. Вони мають товщину 3 мм і радіус 4.5 мм.

Платформа слугує основою всієї конструкції і має розміри 210x50 мм і товщину 5 мм.

Перевагою даної камери над камерами плаского типу є простота у її

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Даний розділ дипломного проектування буде виконуватись у відповідності до плану № 1, оскільки за мету дипломної роботи було поставлено розробити прототип програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові. Метою даного розділу є виявлення та оцінка потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що створюються елементами проектуваного приладу, та розробка заходів щодо їх усунення.

### 3.1 Характеристики прототипу комплексу

#### 3.1.1 Характеристики компонентів прототипу комплексу

Прототип програмно апаратного комплексу складається з генератора струму з електродами, камери для проведення дослідження, мікроскопу з камерою та персонального комп'ютера або ноутбука зі спеціалізованим програмним забезпеченням. Технічні характеристики компонентів прототипу комплексу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики компонентів комплексу, що проектується

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Комп'ютер з ПЗ	Матеріал: високоміцний пластик, метал, скло	1	1
2.	Мікроскоп з камерою	Матеріал: метал, пластик, скло	1	2
3.	Камера для дослідження	Матеріал: органічне скло	1	3

Продовження таблиці 3.1

4.	Генератор струму УИП-2	Матеріал: метал Напруга живлення мережі: 220 В $\pm 10\%$ , частота змінної напруги: 50 Гц $\pm 10\%$ , потужність споживання: до 400 Вт, напруга на виході: 20 – 300 В	1	4
----	---------------------------	--	---	---

3.1.2 Складові частини прототипу комплексу

Складові частини прототипу зображені на рисунку 3.1

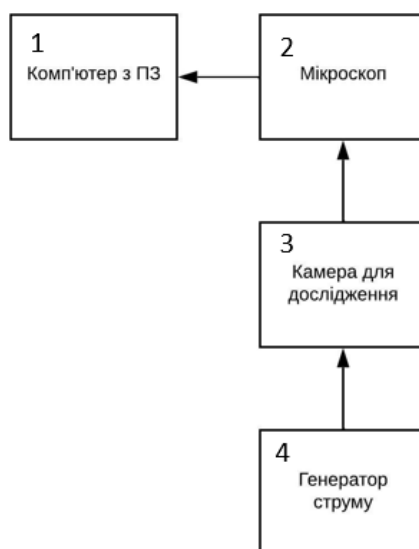


Рис. 3.1 – Структурна схема прототипу комплексу

Електроди генератора струму 4 під'єднуються до камери для дослідження 3, яка розташовується на предметному столику мікроскопа 2. Потім проводиться калібрування і підготовка до дослідження, після чого отримані і записані за допомогою камери дані передаються на персональний комп'ютер 1 через кабель для подальшої обробки і аналізу.

### 3.1.3 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт»

Засоби отримання інформації про роботу комплексу представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Взаємодія прототипу в системі «людина – об'єкт»

№	Найменування компоненту прототипу	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Персональний комп'ютер	Механічна та візуальна взаємодія за допомогою клавіш та екрану	1
2.	Мікроскоп	Механічна та візуальна взаємодія за допомогою гвинтів та лінз	1
3.	Камера для досліджень	Механічна та візуальна взаємодія за допомогою рук та очей	1
4.	Генератор струму УИП-2	Механічна та візуальна взаємодія за допомогою індикаторів та ручок налаштування	1

### 3.2 Оцінка потенційних небезпек що створюються конструкцією комплексу, який проектується, та заходи їх усунення

Найімовірнішими небезпеками при користуванні проєктованим програмно-апаратним комплексом є ризик ураження електричним струмом та виникнення пожежі. Для того, щоб використання даного приладу було безпечним, без шкоди для здоров'я людини, повинні бути дотримані відповідні вимоги до безпеки, встановлені правилами користування з електроапаратурою.

#### 3.2.1 Небезпека ураження електричним струмом

Оцінка та аналіз джерел, причин, наслідків небезпек електричного характеру наведена у таблиці 3.3.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Оцінка небезпек електричного характеру

№	Найменування компонентів комплексу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Генератор струму УИП-2	Електричний струм	Порушення цілісності корпусу приладу	Враження електричним струмом Термальні опіки
			Пошкодження ізоляції шнура живлення	
			Порушення цілісності або роботи компонентів	
2.	Електроди генератора	Електричний струм	Пошкодження ізоляції електродів	Враження електричним струмом Термальні опіки
			Безпосередній контакт з електродами	
3.	Камера для дослідження	Електричний струм	Безпосередній контакт з електродами або струмопровідною речовиною у ванночках камери	Враження електричним струмом Термальні опіки

Реальні та нормативні значення небезпечних факторів електричного характеру наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Реальні та нормативні фактори електричної небезпеки

№	Фактори небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Електричний струм	До 250 мА	3 А
2.	Напруга	3-9 В	до 10 В

Нормативні та реальні значення струму та напруги були визначені згідно ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання». У випадку невідповідності реальних значень нормативним існує потреба створення технічних, організаційних, режимних та експлуатаційних заходів із охорони праці, перелік яких

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





Продовження таблиці 3.8

3.	Експлуатаційні заходи	Належний технічний огляд перед кожним використанням приладу у разі спрацьовування запобіжника	Своєчасне виявлення дефектів, які можуть призвести до загорання приладу та ураження електричним струмом
----	-----------------------	---	---

3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки та експлуатації програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові»

1. Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- використовувати інструмент можна лише після інструктажу з експлуатації комплексу та навчання з питань електробезпеки;
- калібруванням початкового положення інструменту може лише спеціаліст від компанії-розробника.

2. Технологічні вимоги щодо дотримання заходів безпеки перед початком роботи, під час роботи і після закінчення роботи та в умовах надзвичайних ситуацій:

- перед початком роботи треба перевірити інструмент на відсутність механічних ушкоджень та ушкоджень ізоляції, а також стан з'єднувальних кабелів;
- при порушеннях в роботі комплексу, припинити його роботу та звернутись до компанії розробника для отримання технічної допомоги;
- після завершення користування комплексом, необхідно обов'язково вимкнути активні складові та перевірити їх цілісність.

3. Особливості обслуговування даного комплексу і безпечні методи роботи:

- під час транспортування складові комплексу мають бути розміщені в окремих пакуваннях, які забезпечують максимальний захист від механічних ушкоджень;

				БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист 46
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис		Дата

- повинно проводитись регулярне технічне обслуговування комплексу і його складових;
- під час обслуговування й подальшого застосування комплексу мають бути дотримані усі правила безпеки;
- робота зі складовими комплексу має виконуватись у суворому дотриманні інструкцій з експлуатації кожної складової частини.

### Висновки до розділу 3

У цьому розділі розглянуто потенційно небезпечні фактори, що виникають під час використання програмно-апаратного комплексу для вивчення електрокінетичних характеристик еритроцитів крові, а також способи їх запобігання. Основними ризиками є можливість ураження електричним струмом та пожежна небезпека. З метою їх запобігання були розроблені технічні, організаційні, режимні та експлуатаційні заходи для безпечного використання даного комплексу. Також була створена інструкція з техніки безпеки для користувачів цього приладу.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи були виконані усі поставлені задачі. Під час дослідження і аналізу літературних джерел було охарактеризовано кров як дисперсну систему, яка має свої особливості і підкоряється певним законам. Так, в дисперсних системах існують електрокінетичні явища, найвідомішим представником яких є електрофорез. Даний метод активно використовується з метою дослідження таких характеристик клітин крові, як електрофоретична рухливість (або швидкість) та дзета-потенціал, які напряду впливають на стан еритроцитів, що можна розцінювати як перспективний метод діагностики, оскільки науково доведено, що зміна цих параметрів свідчить про зміни в організмі пацієнта і є маркером розвитку запальних або інших патологічних процесів. Особливу увагу варто звернути на дослідження розвитку серцево-судинних захворювань з використанням методу дзетаметрії.

Було розглянуто два основні оптичні методи контролю та дослідження частинок – мікроскопічний та лазерний доплерівський електрофорез. В ході виконання задач дипломної роботи був запропонований прототип програмно-апаратного комплексу для мікроскопічного розрахунку дзета-потенціалу та електрофоретичної рухливості еритроцитів крові, як більш простий та доступний метод швидкої і простої первинної діагностики з метою виявлення змін в організмі.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Медична хімія : підручник / В.О. Калібабчук, І.С. Чекман, Г.О. Сирова, В.І. Галинська та ін.; за ред. проф. В.О. Калібабчук. – К.: ВСВ «Медицина», 2013. – 336 с.
2. Завгородній І.В., Сирова Г.О., Ткачук Н.М. та ін. Медична хімія. Навчальний посібник рекомендований МОЗ та МОН України як навчальний посібник для самостійної роботи студентів вищих медичних навчальних закладів IV рівня акредитації, Харків, ХНМУ, 2010. – 268 с
3. Харченко С. В. Медична хімія. – Полтава: Полтавський літератор, 2014. – 212 с.
4. Мельник Л. І. Хімія і фізика полімерів : навч. посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 161 с.
5. Васильєва Е.М. Біохімічні особливості еритроцита. Вплив патології (огляд літератури). Біомедична хімія. 2005. Т. 51, вип. 2. С. 118–126.
6. Імунна система та адаптаційні механізми в захисті організму людини від агресогенних екологічних факторів навколишнього середовища / Е.М. Солошенко, Ю.Д. Бойчук, І.О. Ключкова, Л.М. Потапова. Проблеми медичної науки та освіти. 2004. № 3. С. 60–62.
7. Estimation of cell membrane properties and erythrocyte red-ox balance in patients with metabolic syndrome / E. Kowalczyk, J. Kowalski, J. Właszczuk et al. Mol. Biol. Rep. 2012.
8. Increased oxidative stress and decreased membrane fluidity in erythrocytes of CAD patients / E. Pytel, M. Olszewska-Banaszczyk, M. Koter-Michalak et al. Biochem Cell Biol. 2013.
9. Muzykantov V.R. Drug delivery by red blood cells: vascular carriers designed by mother nature. Expert Opin Drug Deliv. 2010. Vol. 7, N4. P. 403–427.
10. Physical and Chemical Processes and the Morphofunctional Characteristics of Human Erythrocytes in Hyperglycaemia / V.V. Revin, N.A. Klenova, N.V. Gromova et al. Front. Physiol. 2017.

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист 49
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



подвижности эритроцитов при онкопатологии. Биофизика 1996; 41(5): 1093—1096.

24. Козинец Г.И., Борзова Л.В., Кульман Р.А. Поверхностный заряд клеток крови и некоторые аспекты его биологической роли. Лаб дело 1975; 5: 284—289.

25. Бароненко В.А. Эритроцит — мишень для стресса. Наука в СССР 1988; 30(1): 5—18.

26. Електрокінетичні характеристики лімфоїдних клітин пацієнтів з хронічними і гострими лейкозами та неходжкінськими лімфомами [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/htpjx>

27. Електрокінетичні характеристики лімфоїдних клітин онкологічних пацієнтів і здорових донорів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/htpjz>

28. Zeta Potential as a Diagnostic Tool to Determine the Angina Risk [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.intechopen.com/chapters/72171>

					БМ92.10.3105.2106.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		