

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІОЕС

Коваль Л.Г.

"16" 06 2025 року

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

Виконала: студентка 4 курсу, групи БМІ-216
спеціальності 163 – біомедична інженерія

Обребська В. Р.

Керівник: зав. каф. БМІОЕС, доц., к.т.н.

Коваль Л. Г.

13.06.2025

Рецензент ст. викл. каф. ІКСТ, к.т.н.

Макогон В.І.

12.06.25

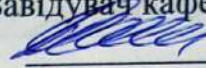
Допущено до захисту

Завідувач кафедри БМІОЕС

К.Т.Н. доц. Коваль Л.Г.

"16" 06 2025р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 163 – біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМІОЕС
 Коваль Л.Г.
“ 20 ” 03 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Обребській Валерії Русланівні

1. Тема роботи «Пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму», керівник роботи Коваль Леонід Григорович, к.т.н., доцент, зав. каф. БМІОЕС, затверджені наказом вищого навчального закладу від 20 березня 2025 року № 97.

2. Строк подання студентом роботи 02.06.2025.

3. Вихідні дані до роботи: схема електрична принципова; напруга живлення –5В; струм споживання (максимальний) – 200 мА; число фіксованих налаштувань – 8; клас точності друкованої плати - 3-й; кількість шарів друкованої плати – 2; ширина та довжина плати 65×65

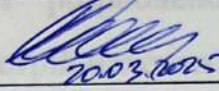
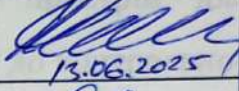
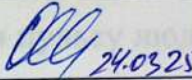
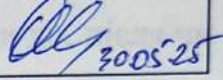
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Здійснити огляд існуючих реалізацій та технологій, обрати прототип, який буде взятий за основу для розробки власної реалізації приладу. Провести розробку друкованої плати із виконанням усіх конструкторських розрахунків (конструкторський розрахунок друкованої плати, розрахунок механічної міцності, електромагнітної сумісності, надійності). Розробити комплекс заходів по охороні праці. Підвести підсумки по виконаній роботі.

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

- схема електрична принципова;
- робочий кресленик друкованої плати;
- складальний кресленик друкованої плати;
- перелік елементів;
- специфікація;
- технічне завдання.

6. Консультанти розділів роботи

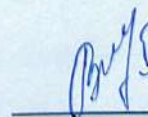
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Коваль Л. Г. доцент кафедри БМІОЕС	 20.03.2025	 13.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С.В., д.п.н., професор кафедри БЖДПБ	 24.03.25	 30.05.25

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	до 20.03.2025	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	до 21.04.2025	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	до 19.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	до 30.05.2025	
5	Попередній захист БКР	06.06.2025	
6	Нормоконтроль БКР	09.06.2025	
7	Рецензування БКР	13.06.2025	
8	Захист БКР	20.06.2025	

Студентка



Обребська В.Р.

Керівник роботи



Коваль Л. Г.

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму. Пристрій належить до контрольно-вимірювальної апаратури й слугує для відстеження пульсу людини до, після чи під час фізичних навантажень. У роботі спроектовано друковану плату: визначено топологію, параметри контактних майданчиків і ширину провідників; виконано розрахунки роботи пристрою за різних зовнішніх впливів і проведено оцінку його надійності при випадкових відмовах.

ABSTRACT

The bachelor's thesis presents the development of a photometric heart-rate monitoring device. The instrument belongs to measurement and control equipment and is intended for tracking a person's pulse before, during, and after physical exercise. The work covers the printed-circuit-board design: defining the topology, pad dimensions, and conductor widths, calculations of the device's performance under various external influences, and an evaluation of its reliability with respect to random failures.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОГЛЯД ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ СЕРЦЕВОГО РИТМУ	9
1.1 Класифікація пристроїв реєстрації біомедичної інформації про серцеву діяльність	9
1.2 Вимоги до розробки оптичних принципів створення систем оцінювання кровонаповнення та оптичних характеристик тканин	10
1.3 Способи вирішення проблеми вибору оптимального методу конструювання пристрою.....	14
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ	16
2.1 Галузь використання пристрою і мета розроблення	16
2.2 Аналіз технічних вимог до розробки та умов експлуатації приладу.....	16
2.3 Вибір, обґрунтування та аналіз аналогів	18
2.4 Розроблення функціонального прототипу пристрою.....	19
2.4.1 Вибір схеми для початку процесу розроблення.....	19
2.4.2 Аналіз схеми електричної принципової та опис принципу роботи пристрою	19
2.4.3 Аналіз елементної бази для побудови пристрою.....	20
2.4.4 Розрахунок сумарної площі пристрою та сумарної маси радіоелементів	27
2.4.5 Загальне компонування конструкції приладу для фотометричного контролю серцевого ритму	30
3 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИЛАДУ	32
3.1 Розробка конструкції та дослідження друкованої плати	32
3.1.1 Розрахунок площі та габаритів друкованої плати	32
3.1.2 Розробка топології друкованих провідників та компонування друкованої плати	34

3.1.3 Технологія виготовлення друкованої плати пристрою	36
3.1.4 Вибір матеріалу та типу друкованої плати пристрою	38
3.1.6 Вибір класу точності для друкованої плати	39
3.2 Розрахунок параметрів контактних площадок отворів	40
3.3 Розрахунок параметрів друкованих провідників	41
3.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованого вузла .	42
3.5 Розрахунок друкованої плати на вібростійкість та віброміцність ...	43
3.6 Розрахунок на механічні впливи та дію удару	46
3.7 Розрахунок надійності приладу за раптовими відмовами	47
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	51
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	51
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	54
4.2.1 Мікроклімат	54
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	55
4.2.3 Виробниче освітлення	55
4.2.4 Виробничий шум.....	56
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	57
4.3 Пожежна безпека.....	58
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	58
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту	59
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ.....	67
Додаток А. Технічне завдання	68
Додаток Б. Схема електрична принципова.....	69
Додаток В. Перелік елементів.....	70
Додаток Г. Робочий кресленик друкованої плати	71
Додаток Д. Складальний кресленик друкованого вузла	72
Додаток Е. Специфікація.....	73

ВСТУП

Актуальність дослідження. Упродовж останніх кількох років значного поширення набули неінвазивні методи діагностики, що ґрунтуються на оптичній реєстрації та опрацюванні біологічних сигналів, особливо там, де альтернативних підходів фактично немає.

Результати численних робіт у галузі відбиткової (рефлексивної) пульсометрії свідчать, що вже найближчим часом з'являться серійні пристрої з універсальними оптичними сенсорами. Головний бонус такої технології – можливість дослідження вимірювання майже на будь-якій ділянці шкіри, що відкриває шлях до різноманітних модифікацій пристроїв для вирішення спеціалізованих завдань: оцінювання артеріального тиску, виявлення дефектів мікроциркуляції у хребетно-рухових сегментах, визначення гемодинамічних параметрів пульсу тощо.

Залежно від конкретної реалізації методики можна також отримати інформацію про цілий спектр біомедичних показників: сумарну концентрацію гемоглобіну, відносне кровонаповнення тканини, рівень сатурації (насичення крові киснем), концентрацію білірубину в крові тощо.

Додатково актуальним є створення спектрофотометричних інформаційно-вимірювальних систем та технологій неінвазивної діагностики біологічних тканин. Їхня основа – інтегровальна сфера, що виступає унікальним оптичним первинним перетворювачем за методом Тейлора у складі інформаційно-вимірювальної системи, що забезпечує реалізацію безболісних методик дослідження біологічних об'єктів.

У сучасній біомедичній техніці ключовими вимогами до діагностичних приладів залишаються безболісність, неущкоджуваність і неінвазивність проведених вимірювань. Серед підходів, здатних забезпечити всі ці критерії, особливо вирізняються оптичні методики, зокрема – спектрофотометричні.

Оптичні технології мають низку додаткових переваг: вони практично нечутливі до електромагнітних перешкод, дають змогу організувати

багатоканальний збір даних і забезпечують найвищу у природі швидкість передавання інформації. Завдяки цьому можна з високою точністю визначати як кількісні, так і якісні характеристики досліджуваної проби.

Створення нових методик оцінювання стану здорових і патологічно змінених біотканин на основі спектрів дифузного відбиття, а також розробка інноваційних спектрофотометричних вимірювальних систем на їх основі, сприяє подальшому поступу науки й техніки. Це особливо актуально для таких галузей, як криміналістика, оптичне апаратобудування та біомедицина.

Сучасний стан досліджень в галузі світлорозсіювання в оптиці дає підстави стверджувати, що теорія розсіювання перебуває на доволі прийнятному, хоча й ще незавершеному рівні. Водночас окремі експериментальні підходи, а особливо вимірювальна апаратура, лишаються недостатньо опрацьованими. Це зумовлює появу нових фундаментальних наукових завдань: необхідно ґрунтовно враховувати ефекти розсіювання у реальних об'єктах – або завдяки математичному моделюванню, або шляхом прямого вимірювання оптичних характеристик розсіювання речовини за відомими принципами.

У практичній спектрофотометрії ключовими виступають принцип Сумпнера та принцип збереження енергії променю, проте традиційні вимірювальні системи часто їх ігнорували. Унаслідок цього точність визначення параметрів і достовірність результатів контролю та діагностики біотканин були обмеженими. Розв'язання цієї проблеми здатне істотно підвищити якість та рівень вимірювань.

Отже, найбільш перспективним шляхом реєстрації фізіологічних показників залишаються неінвазивні діагностичні методи, серед яких особливо швидко розвиваються оптичні технології збирання та перетворення біомедичної інформації.

Визначення частоти серцевих скорочень має ключове значення як для клінічної діагностики, так і для контролю тренувань спортсменів та всіх, хто веде активний спосіб життя. Існує кілька підходів до такого вимірювання:

- Механічні методи. Пульсація кровоносних судин перетворюється на електричний сигнал за допомогою сенсорів тиску або деформації, найчастіше – п'єзоелектричних. Точність показників суттєво залежить від правильного розташування датчика відносно судини. Класичні тонометри кріпляться, наприклад, на кінцівках, мають відносно великі габарити й через незручність майже не підходять для довготривалого носіння.
- Електрокардіографічні методи. Для реєстрації електричних імпульсів серця на шкіру закріплюють кілька електродів. Щоб зробити процес зручним під час тренувань, багато комерційних моделей розміщують електроди та малопотужний бездротовий передавач у гнучкому нагрудному ремені.
- Безконтактні системи. Останнім часом з'явилися прилади, які відстежують серцебиття, реєструючи електромагнітне поле, що випромінює серцевий м'яз. Для цього застосовують надзвичайно чутливі приймачі. Наразі такі рішення залишаються дуже дорогими й потребують спеціально екранованих приміщень для коректної роботи.
- Оптичні методи реєстрації імпульсів. Їхня суть полягає в тому, що шкіра людини змінює коефіцієнт поглинання модульованого світлового потоку залежно від рівня наповнення капілярів кров'ю під час серцевих скорочень. Такий підхід забезпечує не лише підрахунок пульсу: форма отриманої кривої дає змогу оцінювати функції дихальної системи й виявляти патологічні стани. Вимірюючи поглинання інфрачервоного та червоного світла, можна розрахувати сатурацію – вміст кисню в крові, що, своєю чергою, дозволяє відстежувати зміну дихальної активності, фазу сну або втрату свідомості.

У запропонованому однокристальному мікропроцесорному пульсометрі використано саме цей фотоплетизмографічний принцип. Сенсорний модуль складається з інфрачервоного світлодіода й фотодіода й може кріпитися на різні ділянки тіла – палець, зап'ясток чи вушну раковину. Довжина оптичного шляху залежить від місця встановлення датчика.

Якщо світлодіод і фотодіод розташовані по різні боки пальця або вуха, на приймач потрапляє досить потужний сигнал, який легко посилити та обробити. Коли ж обидва елементи розміщені з одного боку, фотодіод реєструє лише розсіяне випромінювання; воно слабке й містить більше шумів, що ускладнює подальший аналіз.

На вимірювальний сигнал накладаються впливи зовнішніх джерел освітлення – прямого сонячного проміння та світла різноманітних ламп, – тож для коректних показників необхідне ретельне фільтрування та оброблення даних. Спроектований пульсометр підтримує всі описані варіанти розташування сенсорів і застосовує як апаратні, так і програмні засоби оброблення сигналів.

Мета бакалаврської роботи – створення мікропроцесорного реєструючого приладу для контролю серцевого ритму. Для досягнення цього потрібно виконати такі кроки:

- дослідити сучасний стан техніки й визначити галузь застосування майбутнього пристрою;
- порівняти розроблюваний прилад з чинними аналогами, висвітливши їх переваги й недоліки;
- детально проаналізувати принципову електричну схему;
- сформулювати й оцінити технічні вимоги до конструкції;
- виконати компоновання елементів і трасування друкованих провідників на друкованій платі;
- провести електричні розрахунки плати, перевірити електромагнітну сумісність, механічну міцність та розрахувати показники надійності;
- опрацювати питання охорони праці.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОГЛЯД ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

1.1 Класифікація пристроїв реєстрації біомедичної інформації про серцеву діяльність

Пристрої первинного знімання медичної інформації слугують «першою ланкою» у системі діагностики: саме вони перетворюють фізіологічні процеси в електричні сигнали, які потім підсилюються, відображаються, реєструються та аналізуються.

Питання коректного зняття даних постає щоразу, коли лікар і інженер стикаються на межі медицини й техніки. Щоб результати вимірювання точно відображали реальний стан організму – допомагаючи поставити правильний діагноз або оцінити емоційний стан – необхідно добре розуміти принцип дії сенсорів, методику їх застосування та знати переваги й обмеження різноманітних конструкцій.

Усі медичні величини, які підлягають вимірам, умовно ділять на дві групи:

1. Прямі параметри. Сюди входять, зокрема, температура тіла чи біоелектричні потенціали. Відповідні сенсори безпосередньо фіксують зміни механічного переміщення, температури або електричного потенціалу тканин.
2. Непрямі (побічні) параметри. Це показники, які самі по собі складно або неможливо виміряти безпосередньо. Натомість спостерігають інші, зручніші для реєстрації величини, що змінюються пропорційно потрібному процесу. Критично важливо встановити достовірний зв'язок між цими непрямими сигналами та первинними фізіологічними параметрами, які цікавлять дослідника.

Таким чином, успішна діагностика починається із грамотного підбору й застосування пристроїв зняття даних, а також із розуміння того, які саме параметри – прямі чи непрямі – лежать в основі вимірювань.

Незалежно від конкретної конструкції, до первинних сенсорних модулів висувають кілька загальних вимог:

- Забезпечення стабільного та інформативного вихідного сигналу.
- Найвищий рівень захисту від завад і шумів.
- Легке та зручне кріплення у місці вимірювання.
- Повна відсутність подразнювального чи іншого небажаного впливу на пацієнта.
- Можливість багаторазового використання й стерилізації без погіршення технічних характеристик.

1.2 Вимоги до розробки оптичних принципів створення систем оцінювання кровонаповнення та оптичних характеристик тканин

Попри безперечні переваги оптичних методів перетворення біомедичних сигналів, на кінцевий результат впливає низка негативних факторів.

1. Фізіологічні біологічні чинники

- У крові, окрім оксигемоглобіну, присутні й інші форми гемоглобіну, які також активно поглинають світло в тому самому діапазоні світла.
- У деяких клінічних ситуаціях до системи кровообігу вводять «сторонні» барвники, що здатні додатково поглинати випромінювання.
- В опромінюваному об'ємі одночасно перебуває артеріальна, венозна та капілярна кров із різним рівнем насичення киснем, що ускладнює інтерпретацію сигналу.
- Оптичні характеристики різних ділянок тіла неоднакові через відмінності у структурі тканин та ступені їх кровонаповнення.
- Пігментація та поточний стан шкіри (наприклад, товщина, зволоженість) також змінюють її здатність пропускати й розсіювати світло.

2. Технічні чинники

- Обрана геометрія розміщення оптичного сенсора суттєво впливає на якість сигналу.
- Необхідно правильно підібрати кількість світлоджерел і відповідні довжини хвиль.
- Навіть сенсори одного типу можуть відрізнятися за спектральною чутливістю, що вносить похибки у вимірювання.
- Напівпровідникові випромінювачі мають обмежену ширину спектра та можливе зміщення піку випромінювання від номінального значення.
- Зовнішнє освітлення та рухові завади пацієнта (рухи, тремтіння) можуть знижувати достовірність отриманих даних.

Реєструвати світловий сигнал, відбитий від біотканини, загалом нескладно. Складності виникають на етапах калібровки та початкового налаштування, адже рівень відбиття залежить не тільки від того, як гемоглобін поглинає світло, а й від оптичних характеристик самих тканин, якими це світло проходить. Ці властивості суттєво варіюють у різних зонах тіла та в різних людей, що ускладнює стандартизацію вимірювань.

Щоб мінімізувати похибки, застосовано кілька рішень:

- Вибір випромінювачів різної довжини хвилі та оптимізація геометрії самого оптичного сенсора.
- Окремий аналіз постійної та низькочастотної змінної складових відбитого сигналу. Низькочастотна компонента з'являється переважно через пульсацію артеріальної крові: під час систоли додаткове кровонаповнення збільшує поглинання й розсіювання світла.
- Придушення високочастотних артефактів завдяки спеціально розробленому цифровому фільтру нижніх частот, що виділяє корисну інформацію.

Серед сучасних діагностичних підходів найціннішими залишаються методи, здатні поєднувати прямі, непрямі й комплексні вимірювання та оперативно надавати параметри досліджуваного середовища.

Сучасні стандарти до лабораторних приладів та методик стають дедалі суворішими, що неминуче підвищує їхню вартість. Водночас залишається проблема зручності експлуатації, зокрема для обладнання вітчизняного виробництва. Іноземні аналоги вирізняються кращою ергономікою, хоча за метрологічними характеристиками українські прилади здебільшого не поступаються аналогам.

У мікробіології, медицині та фармацевтиці широке розповсюдження отримали аналізатори від різних виробників, у конструкцію яких входять спектрофотометричні вимірювальні модулі. Висока точність цих систем забезпечується переважно завдяки використанню мікробіологічних і біохімічних підходів. Самі ж фотометричні блоки задля здешевлення максимально спрощені й функціонують на фіксованих довжинах хвиль, підібраних під конкретні завдання. У результаті значна частина приладів та інформаційно-вимірювальних систем фактично перестала бути спектральною й перетворилася на звичайні фотометри.

Наступне підвищення точності таких модулів досягається здебільшого завдяки кращим оптичним фільтрам, чистоті реактивів і оптимальним спектральним характеристикам джерел світла, тоді як методологічні засади їхньої роботи лишаються незмінними.

Натомість справжні спектральні прилади дають змогу досліджувати безпосередньо характеристики випромінювання, що походить від речовини, надаючи детальну інформацію про її будову. Саме спектр містить надзвичайно багатий масив даних щодо концентрації та типу мікрочастинок, їхньої форми, температури й агрегатного стану, тому лише спектральні системи здатні забезпечити максимальний обсяг корисної інформації під час аналізу мікросвіту.

Спектр будь-якої речовини є своєрідним «відбитком пальця», який дає змогу на основі спектрального аналізу виконувати широкий перелік вимірювань і визначати властивості зразка. Працюючи в автоматичному режимі, спектральні прилади стають інтерактивними: вони беруть на себе

рутинні операції, спрощують роботу оператора, економлять робочий час і водночас підвищують продуктивність та оберігають здоров'я персоналу. Крім того, автоматизація зменшує вплив людського фактору, що позитивно позначається на точності.

Інтелектуалізація приладів додає їм вагомих переваг, особливо у такій знано наукомісткій сфері, як біомедична діагностика. У ручному режимі сканування спектра можливі найрізноманітніші помилки, тоді як «розумна» система самостійно виконує автотестування, коригує параметри, підказує оператору, переходить у повністю автоматичний режим і навіть вимикається по завершенні вимірювань.

Окрім загальних вимог до вимірювальної апаратури, дедалі більше значення має комплексність отримуваних даних. У цьому контексті особливо ефективні методики з інтегровальною сферою та аналізом дифузного відбиття. Вони дають змогу, виходячи з характеристик світлового поля, обчислювати низку інших феноменологічних параметрів досліджуваного середовища (наприклад, коефіцієнти розсіяння, поглинання, оптичної товщини та інші), а також зменшувати сумарну похибку вимірювань [35].

Сучасні інформаційно-вимірювальні системи, що призначені для діагностики та наукових досліджень, найчастіше комплектуються спеціалізованими експертними модулями для постановки діагнозу або ухвалення складних рішень. Під час проєктування комплексних систем важливо закладати можливість їх адаптації: вони мають бути здатними змінювати власні алгоритми роботи, а у разі потреби – навіть свою архітектуру.

Беручи до уваги викладені вище міркування, під час проєктування нових, складних спектрофотометричних систем контролю варто закласти згадані характеристики, щоб максимально скористатися сучасними науково-технічними здобутками. Це не лише розширить можливості діагностичного застосування спектрофотометричних інформаційно-вимірювальних систем, а й удосконалисть точність наявних методик.

Критично важливо розв'язати проблему неінвазійності у дослідженні біологічних об'єктів, адже вона безпосередньо пов'язана зі здоров'ям людини. Водночас цей виклик нетривіальний: виникають похибки як методологічного характеру, так і технічного. До технічних аспектів ми повернемося у розділі 4, тоді як методологічні питання необхідно уточнити ще перед розробкою самої системи, адже від них залежить архітектура приладу і алгоритм його роботи.

Один із підходів передбачає використання оптичних зондів, які підводять первинний перетворювач безпосередньо до об'єкта вимірювання. Однак він породжує низку труднощів: де розмістити джерело світла (як вбудований, так і зовнішній чи стаціонарний варіант) та як забезпечити високу відтворюваність результатів. Різниця у куті нахилу поверхні зразка, точці контакту зонда або поляризації відбитої компоненти неминуче спричиняє коливання показників. Подібні похибки виникають і під час калібрування на відбивних еталонах.

1.3 Способи вирішення проблеми вибору оптимального методу конструювання пристрою

Аналіз існуючих методів дозволяє виділити кілька аспектів, на які треба звернути увагу в процесі конструювання даного приладу [7]:

Вибір елементної бази:

1. Аналогові компоненти. Використання винятково дискретних радіодеталей суттєво збільшує площу друкованої плати через велику кількість елементів.
2. Твердотільна логіка (жорстка логіка). Проектування приладу на логічних модулях обходиться досить дорого, адже потребує великого набору мікросхем і допоміжних деталей.
3. Спеціалізовані інтегральні схеми. Дає найкраще співвідношення «вага / розмір / ціна»: компактні габарити та доступна вартість елементів.

Спосіб організації резервного живлення:

1. З резервним джерелом. Забезпечує роботу під час перебоїв у мережі або в автономному режимі.
2. Без резервного джерела. Доречно лише за гарантовано стабільного мережевого живлення.

Розташування резервного блока:

1. Всередині корпусу. Збільшує масу й габарити пристрою.
2. Зовнішнє виконання. Дозволяє зменшити розміри та вагу основного блока.

Система індикації:

1. З візуальною індикацією. Користувач постійно бачить стан контрольованого об'єкта та параметрів живлення.
2. Без індикації. Можливий, але унеможливорює оперативний контроль стабільності роботи.

Критерії вибору оптимальної конфігурації

1. Доступна елементна база. Обираємо широкопоширені мікросхеми, щоб мінімізувати витрати.
2. Мінімізація крупних деталей. Скорочуємо кількість масивних кнопок і роз'ємів.
3. Зменшення ваги. Переходимо на сучасні, компактні комплектувальні.
4. Повна функціональність. Нові компоненти не повинні обмежувати можливості приладу.
5. Наглядний контроль. Запроваджуємо напівпровідникові індикатори для зручного спостереження за перемиканнями.
6. Поліпшений дизайн корпусу. Враховуємо естетичні вимоги та ергономіку.
7. Спрощене керування. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс розширює сферу застосування пристрою.

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ

2.1 Галузь використання пристрою і мета розроблення

Прилад контролю пульсу людини, що належить до вимірювальної апаратури й слугує для визначення частоти серцевих скорочень після фізичних навантажень.

2.2 Аналіз технічних вимог до розробки та умов експлуатації приладу

Пристрій для вимірювання частоти пульсу людини, що застосовується в приміщенні в помірному кліматі (виконання У – для районів яким відповідає середньорічний діапазон температур від - 45°C до +40°C) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Аналіз умов експлуатації пристрою

Клас використання	Група використання	Підгрупа використання
наземна	стаціонарна	побутова

Вимірювач частоти пульсу людини, за умовами експлуатації, належить до першої категорії апаратури – тобто пристроїв, що функціонують у житлових приміщеннях. Кліматичні та механічні норми, що регламентують величини впливів на апаратуру цієї групи, показані у таблиці 2.2.

Корпус приладу виконано з полістиролу (ГОСТ 20282-86) сірого кольору й має габарити 85 × 75 × 40 мм [8]. На його лицьовій панелі встановлено три семисегментні цифрові індикатори моделі НР-5082-7630, які відображають поточну частоту серцевих скорочень. Семисегментний індикатор марки НР-5082-7630 слугує найпростішим засобом виведення числових даних, здатним демонструвати арабські цифри. Поряд розташовано інфрачервоний світлодіод марки НІРВ5-43Gb-C (його випромінювання не сприймається людським оком) та два кольорові світлодіоди, що сигналізують режими роботи пристрою.

У передній панелі передбачено прямокутний отвір, до якого користувач прикладає палець для здійснення процесу вимірювання. Тут же змонтовані ІЧ-фоторезистор і змінний резистор, за допомогою якого налаштовують коректність роботи пристрою.

Таблиця 2.2 – Норми кліматичних та механічних чинників впливу [6, 7]

Параметр впливу	Норма впливу
Міцність при транспортуванні: - число ударів, не менше - прискорення, g - тривалість імпульсу удару, мс	1000 15 11
Теплостійкість: - гранична температура, °C - робоча температура, °C	55 40
Холодостійкість: - робоча температура, °C - гранична температура, °C	- -40
Атмосферний тиск, кПа	70
Вологостійкість: - вологість, % - температура, °C	75 25

На тильній стороні корпусу на панелі знаходиться гніздо для підведення живлення з маркуванням «5 V / 0,25 A», а поруч – мережевий вимикач.

Усі встановлені робоча параметри пристрою зберігаються у незалежній від живлення пам'яті, тож після вимкнення й подальшого вмикання пристрою повторне налаштування не потрібне.

Конструктивно пульсометр складається з трьох окремих вузлів:

- плата мікропроцесорного управління;
- компоненти, розміщені на лицьовій панелі;
- елементи, розташовані на задній панелі.

Така модульна побудова спрощує виробництво, підвищує надійність та полегшує сервісне обслуговування пристрою. Для ремонту достатньо зняти лицьову панель; спеціального обладнання для діагностики і ремонту не потрібно, тож обслуговування можливе в умовах сервісного центру.

Заходи безпеки:

- після різкого перепаду температури (під час зберігання чи транспортування) пристрій слід витримати не менш ніж дві години у робочому середовищі перед увімкненням.
- заборонено відкривати корпус і проводити техобслуговування, якщо прилад під'єднаний до мережі.

Застосування керамічних малоформатних SMD-резисторів та конденсаторів для поверхневого монтажу і двостороння конструкція друкованої плати живлення дозволили суттєво скоротити її площу, а відтак і габарити всього пристрою.

Споживана потужність становить лише 1,25 Вт, тому додаткову систему охолодження використовувати не потрібно.

2.3 Вибір, обґрунтування та аналіз аналогів

Щоб оцінити характеристики розроблюваного приладу, варто звернутися до існуючих рішень.

Один із найпоширеніших прикладів – електронний пульсометр у форматі наручного годинника. У його складі: сенсор для фіксації серцевих скорочень, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), блок пам'яті, цифровий дисплей, корпус у вигляді годинника і вбудоване джерело живлення.

Сенсор оснащено парою електродів, які реєструють різницю електричних потенціалів на поверхні шкіри пацієнта в момент систоли серцевого м'яза. Від цих електродів сигнали надходять до АЦП, де обробляються і перетворюються на числовий показник частоти серцевих скорочень, що відображається на екрані. Крім того, усі отримані дані зберігаються у внутрішній пам'яті пристрою, що дозволяє згодом аналізувати результати вимірювань.

Головним недоліком мобільного пульсометра на хімічних елементах живлення є використання гальванічних батарей, які містять токсичні речовини та потребують регулярної заміни.

Для мобільного пристрою це досить суттєво, адже прилад призначений для відстеження реакції серця на фізичне навантаження та загального контролю стану організму [9].

Найближчим за конструкцією в технічному плані є електронний пульсометр, що включає сенсор ритму, АЦП, пам'ять, дисплей, корпус і живиться від термоелектричного перетворювача, що використовує тепло біологічного тіла. Такий підхід дозволяє вести безперервний добовий моніторинг і водночас позбавляє потреби утилізувати батареї та не потребує технічного обслуговування (патент України № 90767, 10.06.2014 р.) [10].

Втім, цей пристрій має суттєві мінуси – значні габарити та високу вартість. Таким чином, серед розглянутих рішень термоелектричний пульсометр демонструє найкращі екологічні й ресурсні показники, але за компактністю та комфортом використання поступається пульсометру у формі наручного годинника.

2.4 Розроблення функціонального прототипу пристрою

2.4.1 Вибір схеми для початку процесу розроблення

У результаті порівняння аналогів за прототип обрано електронний пульсометр із термоелектричним елементом живленням (патент України № 90767, МПК H01L 35/00, 10.06.2014). Він включає сенсор вимірювання частоти серцевих скорочень, аналого-цифровий перетворювач для перетворення сигналу, модуль пам'яті, цифровий індикатор, ергономічний корпус та власне джерело енергії, яке забезпечує термоелектричний перетворювач, що використовує тепло людського тіла [10].

2.4.2 Аналіз схеми електричної принципової та опис принципу роботи пристрою

Цей прилад належить до вимірювальної апаратури й призначений для фіксації частоти серцевих скорочень людини після фізичного навантаження.

Електронна частина побудована на мікроконтролері ATmega88 та підсилювачі операційному LM324, а частина програмної логіки реалізована мовою Bascom-AVR.

Принцип роботи ґрунтується на тому, що під час кожного скорочення серця тиск крові коливається, а отже – змінюється й оптична прозорість шкіри в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні. Фактично пристрій «просвічує» вибрану ділянку тіла й відстежує коливання інтенсивності проходження ІЧ-променів. У вимірювальному вузлі використано пару «ІЧ світлодіод – ІЧ-фоторезистор», між якими розташовують палець користувача. Мікроконтролер реєструє зміни прийнятого випромінювання, аналізує їх та обчислює частоту пульсу.

Схема пульсометра містить дві функціональні підсистеми:

- аналоговий тракт представлений операційним підсилювачем LM324, на якому реалізовано високочутливий каскад посилення та фільтр низьких частот. Цей вузол відстежує мінімальні зміни напруги на інфрачервоному фотодатчику, що відповідають пульсовим коливанням кров'яного тиску.

- цифровий тракт складається з мікроконтролера ATmega88 і семисегментних цифрових індикаторів. Контролер працює на частоті 4 МГц, з опорною частотою від окремого кварцового резонатора. Тонке налаштування й калібрування здійснюють потенціометром R1 номіналом 100 кОм.

Щоб зменшити габарити та спростити монтаж, доцільно використовувати SMD-компоненти й розмістити їх на двосторонній друкованій платі. При цьому, працюючи від напруги 5 В і споживаючи до 0,25 А, пульсометр залишається компактним та енергоощадним. Принципова схема та відомість елементів наведені у додатку Б [1], [2].

2.4.3 Аналіз елементної бази для побудови пристрою

Здійснімо оцінку елементної бази, аби переконатися, що вона здатна забезпечити потрібні експлуатаційні параметри виробу. Ключова роль у пульсометрі відведена мікроконтролеру, який координує роботу всієї системи.

Як уже зазначалося, доцільно використати 8-бітний AVR-контролер моделі ATmega88.

ATmega88 – це низькопотужний CMOS-мікроконтролер із розширеною RISC-архітектурою AVR. Виконуючи більшість інструкцій за один тактовий цикл, він досягає продуктивності 1 MIPS на 1 МГц, даючи змогу гнучко балансувати між швидкістю та енергоспоживанням. Нова технологія компанії Atmel знижує питоме споживання струму та розширює діапазон робочої напруги до 1,8 В, що подовжує ресурс автономних джерел живлення.

Ядро AVR містить 32 регістри загального призначення, безпосередньо під'єднані до арифметико-логічного пристрою, тож переважна більшість операцій виконується за один такт. Платформа підтримує апаратне налагодження, внутрішньосхемне програмування (ISP) і дає змогу нарощувати кількість периферійних модулів або інтегрувати спеціалізовані блоки, що робить ATmega88 гнучким і перспективним рішенням для даного проекту.

Для формування тактуючих імпульсів мікроконтролер може використовувати:

- вбудований генератор у поєднанні з зовнішнім кварцовим або керамічним резонатором;
- повністю зовнішній тактовий генератор.

У поточній конструкції обрано саме внутрішній генератор, синхронізований зовнішнім кварцовим резонатором. Гранична тактова частота при цьому становить 16 МГц.

Контролер підтримує апаратний послідовний інтерфейс введення-виведення, параметри якого задаються через програмно. Передача й приймання даних відбуваються через лінії RxD (PD0) і TxD (PD1) мікроконтролера.

Система вводу-виводу містить три двонапрямні порти: В та D по 8 ліній і С із 7 лініями. Кожен вивід може незалежно працювати як приймач, так і передавач; частина контактів мають додаткові альтернативні функції.

В аналоговій частині схеми застосовано операційний підсилювач LM324 з прямим диференціальним входом, внутрішньою частотною компенсацією для

одиничного коефіцієнта підсилення та інтегрованим захистом від короткого замикання.

У корпусі мікросхеми розміщено чотири незалежні окремі операційні підсилювачі, які мають низку переваг порівняно з типовими підсилювачами, що працюють на однополярному живленні. Схема LM324 стабільно функціонує в широкому розкиді напруг – від 3 В до 32 В, і випускається в корпусах SOIC та DIP.

Основні характеристики LM324

- робоча напруга при однополярному живленні: 3...32 В;
- робоча напруга при двополярному живленні: $\pm 1,5 \dots \pm 16$ В;
- коефіцієнт підсилення постійної напруги: 100 дБ;
- споживаний струм: 700 мкА;
- вхідний струм зміщення при температурній компенсації: 45 нА;
- вхідна напруга зсуву: 2 мВ;
- вихідний діапазон напруг: від 0 В до $U_{\text{жив}} - 1,5$ В.

У схемі також застосовуються керамічні SMD-конденсатори, що придатні для ланцюгів постійного й змінного струму та імпульсних режимів. Вони розраховані на автоматизований поверхневий монтаж. Конденсатори формату 0805 з класом діелектрика X7R забезпечують високоякісне функціонування та мають температурний коефіцієнт ємності $\pm 15\%$ у діапазоні температур $55 \dots +125$ °С. Ключові їхні параметри наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Базові параметри SMD конденсаторів

Марка SMD конденсатора	0805–X7R
Робоча напруга, В	50
Номінальна ємність, мкФ	0,1; 1
Тангенс кута втрат, %	2,5 +/-0,2
Допуск номінальної ємності, %	10
Робоча температура, С	-55...+125
Виводи, мм	0,5
Висота корпусу, мм	1,25
Ширина корпусу, мм	1,25
Довжина корпусу, мм	2

В схемі приладу використовуються SMD резистори поверхневого монтажу типу 0805, що призначенні для роботи в колах постійного, змінного та імпульсного струму. Вони використовуються для пайки хвилею, та мають номінальну потужність розсіювання 0,125 Вт.

Основні характеристики таких SMD резисторів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Базові параметри SMD резисторів

Марка SMD резистора	0402
Номінальний опір, Ом	1000, 1500
Максимальна робоча напруга, В	100
Номінальна потужність, Вт	0,125
Допуск, %	10
Робоча температура, С	-55...+125
Виводи, мм	0,25
Ширина корпусу, мм	0,8
Довжина корпусу, мм	1,6
Висота корпусу, мм	0,35

В схемі використані SMD електrolітичні конденсатори типу SAMWHA, що також використовуються для поверхневого монтажу. Основні параметри конденсаторів SAMWHA наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Базові параметри конденсаторів SAMWHA

Марка SMD конденсатора	SAMWHA
Номінальна ємність, мкФ	100, 1000
Максимальна робоча напруга, В	10
Виводи, мм	0,65
Робоча температура, С	-55...+125
Ширина корпусу, мм	4,3
Довжина корпусу, мм	4,3
Висота корпусу, мм	5,4

В схемі застосовуються кварцовий резонатор типу HC-49U-4. Його основні параметри приведено в таблиці 2.6.

В схемі застосовується підстроювальний резистор типу CA14V. Базові параметри резистора типу CA14V наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Базові параметри кварцового резонатора типу НС-49U-4

Максимальна робоча напруга, В	10
Точність настройки, ppm	± 30
Резонансна частота, МГц	4,1
Робоча температура, С	-20...+70
Виводи, мм	0,5
Температурна нестабільність частоти, ppm	$\pm 10 \dots \pm 100$
Ширина корпусу, мм	5
Довжина корпусу, мм	11,1
Висота корпусу, мм	13,2

Таблиця 2.7 – Базові параметри резистора СА14V

Номінальний опір, кОм	100
Номінальна потужність, Вт	0,25
Допуск, %	20
Робоча температура, °С	-55...+125
Діаметр валу, мм	7
Ширина корпусу, мм	14
Довжина корпусу, мм	14
Висота корпусу, мм	6

Для забезпечення можливості підключення до приладу зовнішнього живлення використовується штировий міжплатний роз'єм XP1 типу PLS-2 на два контакти. Базові параметри роз'єму PLS-2 наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Базові параметри роз'єму PLS-2

Функціональне призначення	вилка на плату
Серія	PLS
Кількість контактів в ряду	2
Кількість рядів	1
Крок контактів, мм	2,54
Матеріал контактів	фосфориста бронза
Матеріал ізолятора	посилений скловолокном полімер
Опір ізолятора не менше, МОм	500
Робочий струм, А	1
Опір контактів не більше, Ом	0,01
Робоча температура, °С	-55...+140
Спосіб монтажу	пайка в отвори на платі

Також в схемі застосовуються біполярні транзистори поверхневого монтажу типу 2N3904. Базові параметри біполярних транзисторів наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Базові параметри біполярних транзисторів марки 2N3904

Структура	п-р-п
$I_{к. макс.}, A$	0,2
$U_{к-е. макс.}, B$	40
$U_{к-б. макс.}, B$	60
h_{fe}	100...400
$F_{гр.}, МГц$	300
$P_{роз. макс.}, Вт$	0,625
Робоча температура, °C	-55...+150
Ширина корпусу, мм	3,8
Довжина корпусу, мм	4,6
Висота корпусу, мм	4,6

Відображення частоти пульсу серця людини досягається застосуванням у схемі семисегментних індикаторів типу HP-5082-7630. Базові параметри семисегментних індикаторів наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Базові параметри семисегментних індикаторів марки HP-5082-7630

Тип	Спільний катод
Робочий струм, А	0,05
Робоча напруга, В	1,6
Робоча температура, °C	-40...+75
Довжина хвилі, нм	655
Висота корпусу, мм	5,08
Ширина корпусу, мм	9,8
Довжина корпусу, мм	18,75

В схемі також використовується ІЧ-фоторезистор типу FR12/100K. Базові параметри ІЧ-фоторезистора типу FR12/100K наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Базові параметри ІЧ-фоторезистора марки FR12/100K

Тип фотоприймача	фоторезистор
Потужність, Вт	0,175
Робоча температура, °C	-40...+75
Час вимкнення, мс	5
Час вімкнення, мс	35
Висота корпусу, мм	2,3
Ширина корпусу, мм	6
Довжина корпусу, мм	6,5

Зокрема у схемі застосовуються світлодіоди типу ACC135. Базові параметри світлодіодів типу ACC135 наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Базові параметри світлодіодів марки ACC135

Колір	червоний, зелений
Прямий струм, І	0,02
Пряма напруга, В	1,9...2,1
Форма лінзи	коло
Робоча температура, °C	-20...+100
Діаметр корпусу, мм	5
Кут випромінювання, град	30

У схемі також застосовується інфрачервоний діод типу HIRB5-43Gb-C. Базові параметри такого діоді наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Базові параметри ІЧ-діодів марки HIRB5-43Gb-C

Колір	ІЧ
Потужність ІЧ випромінювання, мВт/ср	50
Довжина хвилі, нм	850
Діаметр корпусу, мм	5
Кут по горизонталі, град	35
Кут по вертикалі, град	35
Форма лінзи	коло
Робоча температура, °C	-40...+100

Таблиця 2.14 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементної бази

Назва елементів	Кіл. шт.	Конструктивні параметри				Допустимі умови експлуатації	
		Маса, г	Площа встанов. мм2	Висота, мм	Діаметр виводу, мм	Макс, темп. °С	Частота вібрації, Гц
Мікросхеми							
LM324	1	1,87	147,8	4,25	0,5	+125	60...330
ATmega88	1	3	244,2	3,68	0,5	+70	60...330
Конденсатори							
0805–X7R	2	0,2	4	1,25	0,5	+125	15...300
SAMWHA	3	1,5	33,75	5,4	0,65	+75	10...200
Резистори							
CA14V	1	1,42	196	6	0,7	+125	60...200
0805–X7R	23	0,2	4	1,25	0,5	+125	15...300
FR12/100K	1	0,72	39	2,3	0,5	+75	60...200
Роз'єми							
PLS-2	1	0,4	6,25	8,54	0,64	+140	60...200
Кварцовий резонатор							
HC-49U-4	1	2,1	55,5	13,2	0,5	+70	60...330
Цифрові індикатори							
HP-5082-7630	3	2	183,75	5,08	0,5	+75	15...300
Транзистори							
2N3904	3	0,31	17,48	4,6	0,5	+150	60...330
Діоди							
ACC135	2	0,4	19,625	8,6	0,5	+100	60...200
HIRB5-43Gb-C	1	0,4	19,625	8,6	0,5	+100	60...200

2.4.4 Розрахунок сумарної площі пристрою та сумарної маси радіоелементів

Визначимо сумарну площу пристрою, яку займуть всі радіоелементи на друкованій платі.

На друкованій платі пристрою, який проектується, встановлено 43 радіоелементи. Площа одного типономіналу радіоелемента формується на

основі площі встановлення одного елемента перемноженої на загальну кількість елементів цього типорозміру.

Для SMD конденсаторів типу 0805–X7R установча площа рівна:

$$S_{C1} = 8 \text{ (мм)}^2.$$

Для SMD конденсаторів типу SAMWHA установча площа рівна:

$$S_{C2} = 101,25 \text{ (мм)}^2.$$

Площа, яку займають SMD конденсатори складає:

$$S_C = S_{C1} + S_{C2} = 8 + 101,25 = 109,25 \text{ (мм)}^2.$$

Для мікросхеми типу LM324 установча площа складає:

$$S_{DA1} = 147,8 \text{ (мм)}^2.$$

Для мікроконтролера ATmega88 установча площа складає:

$$S_{DD1} = 244,2 \text{ (мм)}^2.$$

Отже сумарна площа, яку займають всі мікросхеми:

$$S_{\Sigma} = S_{DA1} + S_{DD1} = 147,8 + 244,2 = 392 \text{ (мм)}^2.$$

Установча площа SMD резисторів типу 0805 складає: $S_{R1} = 92 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа резистора CA14V складає: $S_{R2} = 196 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа фоторезистора FR12/100K складає: $S_{R3} = 39 \text{ (мм)}^2$.

Отже сумарна площа, яку займають всі резистори:

$$S_R = S_{R1} + S_{R2} + S_{R3} = 92 + 196 + 39 = 327 \text{ (мм)}^2.$$

Установча площа роз'ємів типу PLS-2 складає: $S_{XP} = 6,25 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа SMD кварцового резонатора типу HC-49U-4 складає:
 $S_{ZQ} = 55,5 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа транзисторів типу 2N3904 складає: $S_{VT} = 52,44 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа семисегментних індикаторів типу HP-5082-7630 складає: $S_{HG} = 551,25 \text{ (мм)}^2$.

Установча площа діодів складає: $S_{VD} = 58,875 \text{ (мм)}^2$.

Загальна установча площа всіх радіоелементів розміщених на платі буде рівною:

$$\Sigma S_{\text{ел}} = S_C + S_{\Sigma} + S_R + S_{XP} + S_{ZQ} + S_{VT} + S_{HG} + S_{VD}$$

$$\Sigma S_{\text{ел}} = 109,25 + 392 + 327 + 6,25 + 55,5 + 52,44 + 551,25 + 58,875 =$$

$$= 1552,565 \text{ (мм)}^2.$$

Таким чином, розташовані на платі елементи займатимуть загальну площу рівною $1552,565 \text{ мм}^2$.

Тепер визначимо масу радіоелементів плати, яку можна вирахувати, використовуючи дані таблиці 2.14.

Маса всіх SMD конденсаторів типу 0805–X7R $m_{C1} = 0,4 \text{ (г)}$.

Маса всіх SMD конденсаторів типу SAMWHA $m_{C2} = 4,5 \text{ (г)}$.

Отже загальна маса, яку мають SMD конденсатори:

$$m_C = m_{C1} + m_{C2} = 0,4 + 4,5 = 4,9 \text{ (г)}.$$

Маса мікросхеми типу LM324 має значення $m_{DA1} = 1,87 \text{ (г)}$.

Маса мікросхеми типу ATmega88 має значення $m_{DD1} = 3 \text{ (г)}$.

Отже загальна маса, яку мають всі мікросхеми:

$$m_{\Sigma} = m_{DA1} + m_{DD1} = 1,87 + 3 = 4,87 \text{ (г)}.$$

Маса роз'ємів має значення $m_{XP} = 0,4 \text{ (г)}$.

Маса SMD резисторів типу 0805 та резисторів типу CA14V, FR12/100K має значення: $m_R = 6,74 \text{ (г)}$.

Маса кварцового резонатора типу HC-49U-4 має значення: $m_{ZQ} = 2,1 \text{ (г)}$.

Маса транзисторів типу 2N3904 має значення: $m_{VT} = 0,93 \text{ (г)}$.

Маса трьох семисегментних індикаторів типу HP-5082-7630 має значення: $m_{HG} = 6 \text{ (г)}$.

Маса діодів має значення: $m_{VD} = 1,2 \text{ (г)}$.

Загальна маса всіх радіоелементів розміщених на друкованій платі буде рівною:

$$\Sigma m_{\text{ел}} = m_C + m_{\Sigma} + m_{XP} + m_R + m_{ZQ} + m_{VT} + m_{HG} + m_{VD}$$

$$\Sigma m_{\text{ел}} = 4,9 + 4,87 + 0,4 + 6,74 + 2,1 + 0,93 + 6 + 1,2 = 27,14 \text{ (г)}.$$

2.4.5 Загальне компонування конструкції приладу для фотометричного контролю серцевого ритму

Компонування – це процес вибору конфігурації, базових геометричних параметрів, приблизної маси та просторового розташування елементів і вузлів, щоб досягти максимальної ефективності, що задається схемою та функціональним призначенням апаратури.

Під час макетування пульсометра всі навісні компоненти зосереджено на одному боці друкованої плати, а вузли з найбільшою кількістю з'єднань розміщено найбільш компактно. Усі електрорадіоелементи зорієнтовані паралельно краям плати, мікросхеми вишикувані рядами, що забезпечує мінімум довжин провідників і оптимальне взаємне розташування. Центри монтажних, технологічних та кріпильних отворів прив'язані до вузлів координатної сітки; так само продумано розміщення зовнішніх з'єднувачів.

Компоненти встановлено так, щоб до кожного з них зберігався легкий доступ для налаштування чи заміни; можливе як ручне, так і групове паяння з подальшим лакуванням плати. Відстань від корпусу елемента до осі зігнутого виводу становить не менше 2 мм, а до solder-площинки – щонайменше 2,5 мм.

Способи формування виводів та монтаж елементів мають відповідати вимогам галузевого стандарту ОСТ 4.010.030-82 «Установка навісних елементів на друковані плати. Конструювання». Якщо конкретний компонент у стандарті не згадано, метод його підготовки та встановлення вибирають із урахуванням технічних вимог до відповідного ЕРЕ [26].

У друкованих платах для кріплення інтегральних мікросхем передбачають групи контактних майданчиків із неметалізованими отворами. Мікросхеми розташовують так, щоб їхні виводи збігалися з вузлами координатної сітки. Коли крок між виводами елемента не кратний 2,5 або 1,25 мм, принаймні один чи кілька виводів усе-таки суміщають з вузлами сітки. Розміщення інтегральних мікросхем із планарними виводами зазначається розміткою друкованих провідників на платі; перший вивід поєднують із першою контактною площадкою, позначеною «вусиком» або, квадратом.

На друкованій платі застосовано комбіноване розташування інтегральних мікросхемта навісних компонентів – контрольних роз'ємів, контактних майданчиків, жорстких накладок, тепловідводів, фіксаторів, індикаторів тощо. Мінімальні зазори такі: від корпусу компонента до краю плати – не менше 1,0 мм; між корпусами навісних елементів – не менше 0,5 мм; між корпусами інтегральних мікросхем у рядку монтажу – не менше 1,5 мм.

3 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИЛАДУ

3.1 Розробка конструкції та дослідження друкованої плати

3.1.1 Розрахунок площі та габаритів друкованої плати

Повної реалізація переваг друкованого поверхневого монтажу під час розробки плати вимагає слід дотримання наступних рекомендацій: застосування багатошаровості конструкції друковані плати.

Допустимі номінальні показники основних розмірів елементів конструкції плати для вузьких місць залежно від рівня класу точності за ГОСТ 23751-86 приведені у таблиці 3.1 [27].

Таблиця 3.1 – Обраний клас точності друкованої плати

Елементи конструкції	Номінальні значення розмірів для класів точності
	3
Ширина друкованого провідника b , мм	0,45
Гарантійний поясок c , мм	0,1
Відношення номінального діаметра найменшого з отворів до товщини плати	0,33
Відстань між провідниками та контактними площадками, мм	0,25

Друковану плату виготовлено за комбінованою технологією, і вона відповідає вимогам ГОСТ 23.751-86. Координатну сітку обрано з кроком 0,625 мм. Контактні майданчики допускаються будь-якої конфігурації, але мінімальний їхній розмір має бути не менше 0,5 мм. Допуск на відстані між будь-якими двома отворами становить $\pm 0,08$ мм. З одного боку плати належить нанести захисний паяльний шар.

Позначення радіоелементів слід наносити чорною фарбою ТНПФ-51 відповідно до кресленника. Дату виготовлення і заводський номер наносити білою фарбою БМ шрифтом ЗПР-П, згідно з ГОСТ 26020-82 [28].

Під час процесу конструювання потрібно розрахувати площу друкованої плати, виходячи з сумарних габаритів електронних компонентів і прийнятої щільності розміщення, використавши відповідну формулу.

$$S = q * S_{pe},$$

де q – значення коефіцієнту дезінтеграції, $q = (2-4)$; S_{pe} – величина площі встановлення радіоелементів.

$$S_{дп} = (2 - 4) * 1552,565 \text{ мм}^2 = (3105,13 - 6210,26) \text{ мм}^2.$$

Отже, друкована плата повинна мати загальну площу не більше 6210 мм^2 . Але так як реальні габарити друкованої плати складають $65 \times 65 \text{ мм}$, то площа плати становить:

$$S_{дп} = 4225 \text{ мм}^2.$$

Розміри кожної сторони плати повинні бути кратні величині $2,5 \text{ мм}^2$. А співвідношення сторін 1:1.

Під час проєктування друкованої плати були витримані такі конструктивно-технологічні вимоги:

- Плата має прямокутну форму та стандартизовані габарити.
- Товщина плати становить $1,5 \pm 0,15 \text{ мм}$, що відповідає обраному способу виготовлення та вимогам до механічної й електричної міцності.
- Усі центри отворів розташовано у вузлах координатної сітки; діаметри монтажних і перехідних (металізованих та неметалізованих) отворів визначено згідно з ГОСТ 10317-79 [29].
- Відхилення від заданих відстаней між центрами отворів не перевищує $\pm 0,2 \text{ мм}$, а для групових або автоматично встановлюваних багатовивідних компонентів – не більше $\pm 0,1 \text{ мм}$.
- Отвори розташовано так, щоб мінімальна відстань між їхніми крайками (без урахування фасок) була не меншою за товщину самої плати [7].

3.1.2 Розробка топології друкованих провідників та компоновання друкованої плати

Монтаж SMD-компонентів на плату виконується відповідно до ГОСТ 29137-91 [30].

Під час прокладання друкованих доріжок слід прагнути отримати мінімальну довжину з'єднань, щоб звести до мінімуму паразитні зв'язки між провідниками та радіодеталлями.

Через складність топології обираємо координатну сітку з кроком 0,625 мм. Початок сітки задаємо згідно з ГОСТ 2.417-78, після чого всі подальші операції виконуємо автоматизовано у середовищі Proteus— пакеті САПР, що базується на моделях компонентів PSpice. Його особливість – можливість імітації роботи програмованих пристроїв (мікроконтролерів, мікропроцесорів). Бібліотеки містять довідникові відомості, а до складу пакета входить модуль проектування друкованих плат. Програмний комплекс складається з двох основних підсистем: ISIS (створення й моделювання схем) та ARES (трасування плат) [31].

Для розробки друкованої плати спочатку будуємо принципову схему пульсометра в модулі ISIS Professional (рис. 3.1).

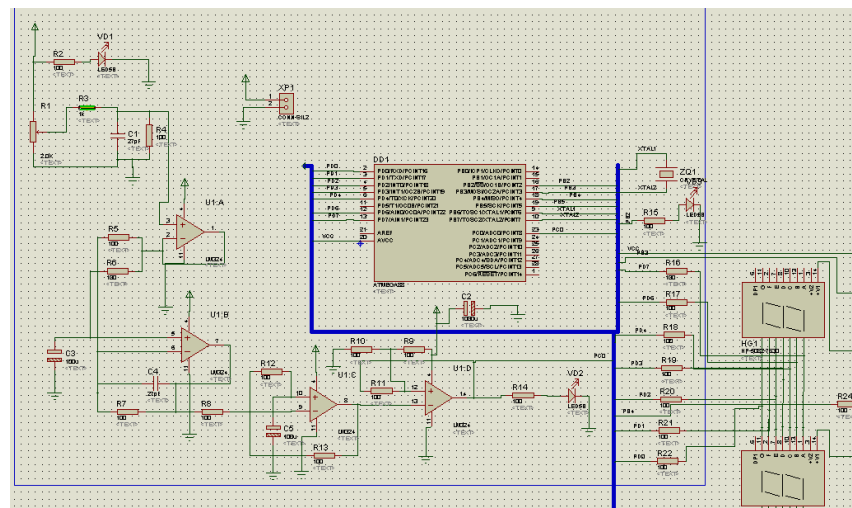


Рисунок 3.1 – Побудова схеми електричної принципової пристрою фотометричного контролю серцевого ритму в додатку ISISProfessional.

Для побудови топології з'єднань друкованої плати потрібно розроблену модель схеми перенести в додаток ARES Professional. Для цього необхідно згенерувати список з'єднань, вибравши відповідну команду у меню «Інструменти» даної програми (рис. 3.2).

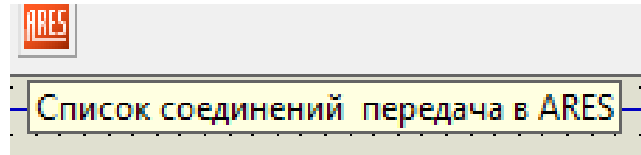


Рисунок 3.2 – Конвертація електричної схеми із додатка «ISIS» у додаток «ARES» для проведення трасування з'єднань

Після цього відкривається модуль «ARES», у якому на панелі «Компоненти» буде відображатися повний перелік задіяних деталей. Щоб увімкнути автоматичне розташування, спершу задаємо робочу зону, де дозволено розташовувати елементи. Далі розставляємо потрібні компоненти всередині цієї області й натискаємо кнопку «Автотрасування» (рис. 3.3).

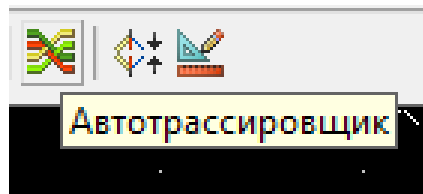


Рисунок 3.3 – Виклик команди «Автотрасування» додатку «ISIS»

В результаті автотрасувальник розвів друковані провідники двосторонньої плати згідно заданих правил (рис. 3.4).

Цей технологічний цикл давно відпрацьований і добре забезпечений необхідним устаткуванням.

Комбінований підхід поєднує хімічні та електрохімічні операції. Вихідним матеріалом слугує діелектрик, обкладений мідною фольгою з обох боків. Провідний рисунок формують методом травлення міді, а металізацію наскрізних отворів виконують шляхом хімічного осадження тонкого шару міді з подальшим електролітичним нарощуванням. Паяння виводів компонентів здійснюють, заповнюючи ці отвори припоєм у процесі монтажу.

Технологічна послідовність виготовлення друкованої плати:

1. Розкрій заготовки. Із двостороннього фольгованого склотекстоліту вирізають плати дисковими фрезами $\varnothing 100$ мм, товщина інструмента – 3 мм; швидкість подачі $\approx 100\text{--}120$ мм/с.
2. Підготовка мідної поверхні.
 - Механічне шліфування дрібнозернистим наждаком.
 - Ретельне промивання протічною водою.
 - Травлення у 5–7 % розчині HCl протягом 30 с та повторне ополіскування.
3. Нанесення фоторезисту. Резист рівномірно наносять методом поливу, після чого деталь центрифугують (80–100 об/хв) і сушать при 35–40 °С.
4. Експонування. Заготовку поміщають у копіювальну рамку та засвічують фотошаблоном 8–10 хвилин.
5. Проявлення. Захисний малюнок проявляють у ванні з теплою водою (40–50 °С) за допомогою ультразвуку.
6. Хімічне закріплення. Отриманий рисунок дублять у 3 % розчині хромового ангідриду.
7. Травлення міді. Незахищені ділянки фольги видаляють у травильній установці КТ-38: 15–18 хв у водному FeCl_3 , далі промивання холодною водою.
8. Лакове покриття та сушка. Плату покривають захисним лаком і витримують 6 год при 20–30 °С.

9. Механообробка отворів.

- Свердління всіх технологічних та монтажних отворів згідно типорозмірів.
- Зенкування свердлом Ø 2 мм.

10. Підготовка до металізації.

- Активування отворів розчином хлориду олова.
- Хімічне осадження міді у 40 % розчині мідного купоросу (20 хв).

11. Зняття лаку й фінальна сушка. Захисний шар видаляють ацетоном і висушують плату.

12. Фінішне лудіння. Покриття монтажних площадок сплавом Розе методом занурення у розплав.

Таким чином, комбінований (хімічно-електрохімічний) процес дозволяє одержати двосторонню друковану плату з металізованими отворами та готовим захисним покриттям.

3.1.4 Вибір матеріалу та типу друкованої плати пристрою

До матеріалу друкованої плати для реалізації заданої мети висуваємо наступні вимоги:

- а) високий рівень технологічності;
- б) гарні та якісні електрофізичні властивості;
- в) здатність працювати в умовах вакууму;
- г) забезпечення високої адгезії матеріалу;
- д) мінімальні механічні впливи.

Найчастіше, з метою виготовлення якісної друкованої плати зазвичай використовують склотекстоліт та гетинакс таких марок:

- а) ГФ – фольгований гетинакс;
- б) СФ – фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;

Характеристики матеріалів друкованих плат приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6

Для виготовлення друкованої плати беремо двосторонній фольгований склотекстоліт СФ-2-35-1,5 (ТУ 16-503.271-86). Матеріал має товщину основи 1,5 мм, товщину мідної фольги по обом сторонам – 35 мкм. Такий склотекстоліт відрізняється найширшим робочим температурним діапазоном і мінімальним коефіцієнтом лінійного розширення; допустиме відхилення по товщині становить $\pm 0,2$ мм [32].

Друковані плати поділяються на односторонні, двосторонні (із міжшаровими з'єднаннями або без них) та багатошарові (із послідовним, попарним чи наскрізним з'єднанням шарів).

Основні риси двосторонніх плат:

- кращі комутаційні можливості;
- міцніші електричні з'єднання;
- вища собівартість порівняно з односторонніми аналогами [7].

3.1.5 Вибір класу точності для друкованої плати

Оскільки крок координатної сітки в нашому випадку вибраний згідно з ГОСТ 10317-79 і дорівнює 0,625 мм, то для нашої плати доцільно обрати 3-й клас точності. Йому відповідають такі конструктивні норми:

- мінімальна ширина провідника на «широких» ділянках – 0,45 мм;
- мінімальна ширина провідника на «вузьких» ділянках – 0,25 мм;
- мінімальний проміжок між сусідніми доріжками – 0,25 мм;
- ширина захисного пояса на зовнішніх шарах – 0,1 мм;

- ширина захисного пояса на внутрішніх шарах – 0,05 мм [7].

3.2 Розрахунок параметрів контактних площадок отворів

У вузьких місцях величина діаметру контактної площадки отвору розраховується згідно формули:

$$D = d + \Delta d_{\text{вв}} + 2c + 2\Delta d_{\text{тр}} + \Delta t_{\text{вв}} + (T_D^2 + T_d^2 + \Delta t_{\text{нв}}^2)^{1/2},$$

де d – це діаметр отвору, мм; $\Delta d_{\text{вв}}$ – максимальне верхнє відхилення діаметра отвору, мм; c – це ширина контактної площадки у вузькому місці, мм; $t_{\text{вв}}$ – максимальне верхнє відхилення діаметра контактної площадки, мм; $d_{\text{тр}}$ – це значення підтравлювання діелектрика в отворі (0 для двосторонньої друкованої плати); T_d – позиційний допуск розміщення осей отворів, мм; T_D – позиційний допуск координат центрів контактних площадок, мм; $t_{\text{нв}}$ – граничне нижнє відхилення контактної площадки, мм.

Обравши діаметр отвору d за 0, розрахуємо допустимий діаметр контактної площадки отвору D_1 :

$$D_1 = 0 + 0 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0 + 0,1 + (0,15^2 + 0,08^2 + 0,1^2)^{1/2} = 0,497 \text{ мм.}$$

Загальний діаметр отвору визначається залежно від товщини виводів радіоелементів, $d = d_{\text{в}} + (0,2 - 0,4) \text{ мм.}$

В даному приладі використані радіоелементи, діаметри виводів яких складають 0,5 мм та 0,7 мм.

$$d_1 = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ мм.}$$

Таким чином, у вузьких місцях повний діаметр контактної площадки отвору для d_1 та d_2 має значення:

$$D_{\text{кп1}} = D_1 + d_1 = 0,5 + 0,5 = 1,2 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{кп2}} = D_1 + d_2 = 0,7 + 0,7 = 1,4 \text{ мм.}$$

Значення найменшої номінальної відстані для прокладання n -ї кількості друкованих провідників.

$$l = \frac{D_{кп1} + D_{кп2}}{2} + b \cdot n + S \cdot (n + 1) + T_B,$$

де D_1, D_2 – це діаметри контактних площадок, мм; b – ширина друкованого провідника, мм; n – загальна кількість провідників; S – це відстань між краями сусідніх друкованих провідників, мм; T_B – позиційний допуск на розміщення друкованого провідника, мм [7].

$$l = \frac{1,2 + 1,4}{2} + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot (5 + 1) + 0,05 = 3,2 \text{ мм.}$$

3.3 Розрахунок параметрів друкованих провідників

Визначаємо значення мінімальної ширини друкованого провідника на платі залежно від значення величини струму у ланцюгах.

$$b_{min1} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t},$$

де I_{max} – це максимально допустимий постійний струм, який проходить по провіднику (отримуємо із аналізу схеми принципової), А; $j_{доп}$ – величина допустимої густини струму згідно методу виготовлення плати, А/мм²; t – товщина друкованого провідника, мм.

$$b_{min1} = \frac{0,25}{0,25 \cdot 0,035} = 35 \text{ мм} (< 45 \text{ мм}).$$

Визначимо значення мінімальної ширину провідника з умови прийняттого падіння величини напруги:

$$b_{min2} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l}{\Delta U_{доп} \cdot t},$$

де ρ – це питомий опір провідників (матеріал – мідь), $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; l – це максимальна довжина провідника, м; t – товщина провідника на платі, мм; $\Delta U_{доп}$ – це величина допустимого спаду напруги, що не перевищує 5% від величини напруги живлення та не більша за значення завадостійкості мікросхем.

$$b_{min2} = \frac{0,0175 \cdot 0,25 \cdot 0,07}{0,75 \cdot 0,035} = 0,011 \text{ м.}$$

$$b_{min2} = 11 \text{ мм} < 25 \text{ мм.}$$

Розраховані значення параметрів друкованого провідника не перевищують визначених для обраного третього класу точності [7].

3.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованого вузла

Важливою складовою конструкторських робіт над електронними пристроями є розрахунок внутрішньої електромагнітної сумісності, мета якого – перевірити, чи збережуть окремі вузли працездатність за наявності взаємних завад на лініях зв'язку. Після такого аналізу виявляють елементи й кола, що не відповідають нормам електромагнітної сумісності, тому доводиться коригувати компонування, трасування, технологію друкованого монтажу й, за потреби, екранувати певні ділянки друкованої плати.

Для оцінки стійкості до завад на платі розраховують ємнісну та індуктивну складові паразитного зв'язку, які визначаються, відповідно, паразитною ємністю між провідниками та взаємною індуктивністю між ними.

Значення паразитної ємності між парою друкованих провідників обчислюється згідно формули:

$$C = C_{\text{пог}} \cdot l_1,$$

де $l_1 = 3,3$ – це максимальна довжина взаємного перекриття друкованих провідників, см; $C_{\text{пог}} = 0,85$ – це значення погонної ємності між двома паралельними друкованими провідниками пФ/см.

Значення паразитної ємності провідників в системі 3+ друкованих провідників знаходиться як сума паразитних ємностей двох різних пар провідників.

$$C = 0,85 \cdot 3,3 = 2,805 \text{ пФ}.$$

Значення паразитної взаємоіндукції між друкованими провідниками для плати, що має неекрановані поверхні визначається згідно формули:

$$M = 2l_2 \left[\ln \frac{2l_2}{s + 0,5(b_1 + b_2)} - 1 \right],$$

де M – це взаємоіндукція між провідниками, мГн; $b_1, b_2 = 0,025$ – ширина двох друкованих провідників, см; $l_2 = 3,3$ – довжина паралельної ділянки друкованих провідників, см; $S = 0,12$ – це відстань між цими провідниками, см.

$$M = 2 \cdot 3,3 \left[\ln \frac{2 \cdot 3,3}{0,12 + 0,5(0,025 + 0,025)} - 1 \right] = 18,62 \text{ мГн.}$$

Значення паразитної взаємоіндукції між сусідніми друкованими провідниками для друкованої плати з екранованою поверхнею визначається згідно формули:

$$M = 2l_2 \left[\frac{S + 0,5(b_1 + b_2)}{H} + \ln \frac{2l_2}{S + 0,5(b_1 + b_2)} \right],$$

де H – це товщина діелектрика, см.

$$M = 2 \cdot 6,8 \left[\frac{0,12 + 0,5(0,025 + 0,025)}{1,5} + \ln \frac{2 \cdot 3,3}{0,12 + 0,5(0,025 + 0,025)} \right] = 25,85 \text{ мГн.}$$

Значення індуктивності друкованого провідника розраховується згідно формули:

$$L = L_{\text{пог}} \cdot l_2,$$

де $L_{\text{пог}} = 0,017$ – це величина погонної індуктивності друкованого провідника, мкГн.

$$L = 0,017 \cdot 3,3 = 0,056 \text{ мкГн.}$$

Серед проведених розрахунків величин паразитної ємності та паразитної індуктивності, можна побачити, що величини паразитних параметрів знаходяться в діапазоні норми та не вимагають проведення додаткових заходів для їх пониження [7].

3.5 Розрахунок друкованої плати на вібростійкість та віброміцність

Уся радіоелектронна апаратура зазнає впливу зовнішніх механічних навантажень, які передаються на кожен вузол і деталь конструкції.

Ключові поняття:

- Вібраційна стійкість – здатність виробу за заданих показників міцності виконувати свою функцію та зберігати експлуатаційні параметри в установлених межах.

- Вібраційна міцність – опір конструкції процесам руйнування під дією зовнішніх дестабілізуючих чинників.

До зовнішніх механічних впливів належать вібрації, удари, лінійні прискорення й перевантаження. Тож під час проектування потрібно гарантувати достатню жорсткість і механічну надійність усіх елементів.

Етапи врахування механічних навантажень при конструюванні РЕА

1. Забезпечити власну жорсткість і міцність конструкції (що, однак, збільшує масу і, відповідно, динамічні навантаження).
2. Визначити власну резонансну частоту й конструктивно «винести» її поза спектр зовнішніх механічних коливань.
3. Перевірити, чи захищена апаратура від ударних імпульсів заданої форми та тривалості.
4. Оцінити стійкість до лінійних перевантажень.
5. Забезпечити належну упаковку для безпечного транспортування.

Далі необхідно розрахувати власні частоти коливань окремих конструктивних компонентів РЕА. Наприклад, власну частоту рівномірно навантаженої плати, закріпленої в чотирьох точках, визначають за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} a \cdot b,$$

де a і b – це довжина і ширина сторін плати відповідно, м; M – це маса плати, кг; D – це коефіцієнт циліндричної жорсткості.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)},$$

де E – це модуль пружності; h – це товщина друкованої пластини; ν – це коефіцієнт Пуассона.

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1-0,22^2)} = 8,926;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,065^2} \left(1 + \frac{0,065^2}{0,065^2} \right) \sqrt{\frac{8,926}{0,03728}} 0,065 \cdot 0,065 = 747 \text{ Гц.}$$

Обраховане значення частоти власних коливань плати необхідно співставити з частотою коливань згідно умов експлуатації. Якщо виконується

умова $f_0 \neq f_p$, то на конструкцію друкованого вузла не будуть впливати вібраційні експлуатаційні навантаження. В цьому випадку f_p – розрахункове значення, що обирається в межах 80 ... 100 Гц.

В подальшому необхідно розрахувати коефіцієнт динамічності, що визначається згідно формули:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1+[K_1(x)K_1(y)-1]\eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 \varepsilon^2 \eta^2}},$$

де $K_1(x)$, $K_1(y)$ – це коефіцієнти форми коливань залежно від методу кріплення друкованої плати в корпусі. Для нашого випадку кріплення $K_1(x) = K_1(y) = 1,3$; η – це коефіцієнт розстроювання; ε – це показник затухання.

Значення коефіцієнта розстроювання визначається як співвідношення частоти збудження коливань до частоти власних коливань, $\eta = f/f_0$:

$$\eta = \frac{80}{1122} = 0,071;$$

Величину показника затухання визначаємо згідно формули $\varepsilon = \Lambda/\pi$, де Λ – це декремент затухання, $\Lambda = (2 \dots 10) \cdot 10^2$:

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^2 / 3,14 = 159;$$

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1+[1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,07^2)^2 + 160^2 \cdot 0,07^2}}{\sqrt{(1 - 0,07^2)^2 \cdot 160^2 \cdot 0,07^2}} = 0,107,$$

Вібросміщення знаходимо згідно формули:

$$S_B = \xi_0 K_{\text{дин}},$$

$$\xi_0 = a_0 / 4\pi^2 f^2,$$

де a_0 – величина вібросміщення відповідно до технічного завдання, $a_0 = 2g = 19,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$,

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 747^2} = 3,477 \cdot 10^{-7} \text{ мм},$$

$$S_B = 3,477 \cdot 10^{-7} \cdot 0,107 = 3,523 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

Величина віброприскорення:

$$a_B = a_0 K_{\text{дин}} = 19,6 \cdot 0,107 = 19,862 \text{ м/с}^2.$$

Знаходимо прогин плати:

$$\delta_{\text{доп}} = S_B - \xi_0 = 3,523 \cdot 10^{-7} - 3,477 \cdot 10^{-7} = 4,642 \cdot 10^{-9} \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{доп}} \cdot l^2 = 4,642 \cdot 10^{-9} \cdot 0,065^2 = 1,961 \cdot 10^{-11} \text{ мм.}$$

Таким чином, випробування плати на прогин засвідчили, що деформації залишаються в межах допустимих норм, тож вібраційні навантаження не будуть здійснювати вплив на справність і функціонування пристрою [7].

3.6 Розрахунок на механічні впливи та дію удару

Ударне навантаження визначають за формою й основними характеристиками імпульсу. Найбільший вплив на механічну систему справляє імпульс із прямокутним профілем. Згідно з технічним завданням пристрій фотометричного контролю серцевого ритму має бути стійким до удару тривалістю 20 мс. Розрахунок стійкості до такого навантаження виконують у такій послідовності:

- визначаємо значення умовної частоти ударного імпульсу:

$$\omega = \frac{\pi}{\tau},$$

де τ – часова тривалість ударного імпульсу, мс.

$$\omega = \frac{3,14}{20 \cdot 10^{-3}} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

- визначаємо значення коефіцієнту передачі при ударі для прямокутного імпульсу:

$$K_{y1} = 2 \sin \frac{\pi}{2v},$$

$$K_{y2} = \frac{2v}{v^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2v},$$

де v – це коефіцієнт розстроювання, $v = \omega / 2\pi f_0$; f_0 – це частота внутрішніх коливань механічної системи;

$$v = \frac{157}{3,14} \cdot 747 = 0,033;$$

$$K_y = 0,328.$$

- визначаємо ударне прискорення згідно формули:

$$a_y = H_y \cdot K_y$$

де H_y – це значення амплітуди прискорення ударного імпульсу, $H_y = 49 \text{ мс.}$

$$a_y = 0,328 \cdot 49 = 16,067 \text{ см.}$$

- визначаємо максимальне відносне переміщення при ударі згідно формули:

$$Z_{max} = (H_y / \pi f_0) \cdot \sin(\pi / 2v).$$

- для друкованої плати повинно бути забезпечено виконання умови:

$$Z_{max} < 0,003b;$$

$$Z_{max} = 0,0034 < 0,0225 \text{ см.}$$

де b – розмір більшої сторони друкованої плати, якщо паралельно їй встановлені радіоелементи.

З аналізу отриманих даних випливає, що вибрані варіант кріплення друкованої плати й її товщина забезпечують найменшу власну частоту при дії удару, найбільшу амплітуду вібропереміщень та мінімальне ударне прискорення. Такий підхід також доцільний тому, що вібраційні навантаження для приладу актуальні переважно в процесі транспортування [7].

3.7 Розрахунок надійності приладу за раптовими відмовами

Надійність – здатність виробу стабільно виконувати свої задані функції у визначених умовах експлуатації, утримуючи робочі показники у нормованих встановлених межах протягом певного часу, що відповідає вимогам використання, транспортування, обслуговування, ремонту, зберігання тощо.

Усю продукцію умовно ділять на відновлювану та невідновлювану.

- Відновлювані вироби можна повернути у робочий стан після відмови.
- Невідновлювані елементи після виходу з ладу не ремонтують; сюди зазвичай належать більшість радіокомпонентів – резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми, а також окремі види спеціальної апаратури.

Обчислення надійності полягає у визначенні її показників на основі відомих характеристик складових елементів та експлуатаційних умов. Базовими

даними для такого розрахунку є значення інтенсивності відмов радіоелементів за нормальних режимів роботи.

У розроблюваному пристрої налічується 43 ключові компоненти, кожен з яких потенційно може викликати відмову системи загалом. Тому доцільно виконати сумарний розрахунок надійності з урахуванням усіх цих елементів; їх перелік наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вхідні дані для розрахунку надійності

Назва елемента	Кіл-ть елементів	Інтенсивність відмов	Робоча температура	Виправлений коефіцієнт	Інтенсивність відмови групи
Позначення елементів	n_i	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$	°C	a	$\lambda_{гр} \cdot 10^{-6}$
Кварцовий резонатор	1	0,02	70	1,1	0,022
Керамічні конденсатори	2	0,14	125	1,1	0,308
Електролітичні конденсатори	3	0,022	75	1,1	0,0726
Резистори	23	0,02	125	1,1	0,506
ІЧ-фоторезистор	1	0,15	75	1,1	0,165
Змінний резистор	1	0,03	125	1,1	0,033
Процесор	1	0,8	70	1,1	0,88
Мікросхеми великої інтеграції	1	0,15	125	1,1	0,165
Роз'єми	1	0,1	140	1,1	0,11
Транзистори	3	0,5	150	1,1	1,65
Світлодіоди	2	1	100	1,1	2,2
ІЧ-світлодіод	1	1	100	1,1	1,1
Цифрові індикатори	3	1,2	75	1,1	3,96
Друкована плата	1	1	80	1,1	1,1
Пайки	152	0,0008	40	1,1	0,13376
λ_{cp}					12,40536

Інтенсивність відмов загалом системи вираховується згідно формули:

$$\lambda_{cp} = \sum_{i=1}^m a_i n_i \lambda_{pi},$$

де a_i – коефіцієнт впливу оточуючого середовища; n_i – число компонентів в групі; λ_{pi} – інтенсивність відмов групи; m – кількість однакових компонентів.

Час роботи визначається згідно формули:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{12,40536 \cdot 10^{-6}} = 80610 \text{ год.}$$

Отже, отримана величина напрацювання на відмову складає 80610 год. Якщо врахувати, що в році є 8760 год., то даний пристрій повинен працювати безвідмовно більше 9 років.

Вірогідність безвідмовної роботи в кожен момент часу виконується згідно формули:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t},$$

при цьому, якщо $\lambda_{\Sigma} t < 0,1$ то з достатнім рівнем точності можна вважати $P(t) = 1 - \lambda_{\Sigma} t$, де t – час випробувань [33, 34].

Результати випробувань вносимо до таблиці 3.4.

На основі цього можна побудувати графік залежності $P(t)$ (рис. 3.6).

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку показників надійності

№/n	t	$-\lambda_{\Sigma} t$	$P(t)$
1	10^1	$1,241 \cdot 10^{-4}$	1
2	10^2	$1,241 \cdot 10^{-3}$	0,999
3	10^3	0,012	0,988
4	10^4	0,124	0,883
5	$4 \cdot 10^4$	0,496	0,609
6	$6 \cdot 10^4$	0,744	0,475
7	10^5	1,241	0,289

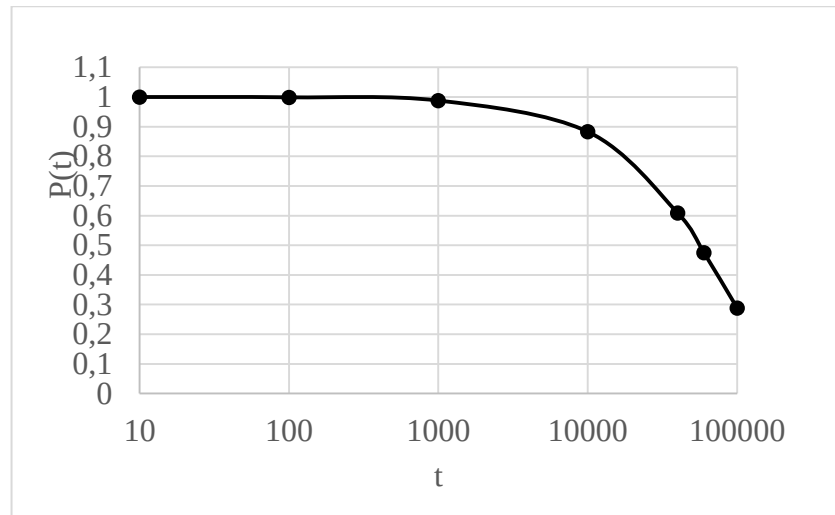


Рисунок 3.6 – Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи приладу для фотометричного контролю серцевого ритму від часу t

Графік кореляції $P(t)$ може служити для визначення гарантійного періоду служби приладу. При цьому визначається час, за який $P(t) = 0,7$. В даному випадку – $t_{\text{гр.т.с.}} = 2,87 \cdot 10^4$ год. Таким чином, з отриманих значень, можна визначити, що час роботи $T_{\text{рс}} = 80610$ год., інтенсивність напрацювання на відмову всієї системи $\lambda_{\text{ср}} = 12,40536 \cdot 10^{-6}$ год., а гарантійний термін служби пристрою складає $t_{\text{гр.т.с.}} = 2,87 \cdot 10^4$ год.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час проектування пристрою для фотометричного контролю серцевого ритму на працівника, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [13]: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму; підвищений рівень статичної електрики; підвищена напруженість електричного поля; недостатня освітленість повітря робочої зони; фізичні перевантаження (статичні); нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо покращення умов праці на робочому місці.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

На робочому місці проектувальника проектування пристрою для фотометричного контролю серцевого ритму виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи.

Проектування робочих місць, забезпечених ПК, відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця

проектувальника повинні бути дотримані наступні основні умови: оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця і достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення [14].

Головними елементами робочого місця проектувальника є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення працівника. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібне для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Висота робочої поверхні столу для користувачів повинна регулюватися в межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для ПК, на підставі яких повинні розраховуватися конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм при нерегульованій висоті, що дорівнює 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною – не менше 500 мм, глибиною на рівні колін - не менше 450 мм і на рівні простягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також - відстані спинки до переднього краю сидіння. Робоче місце необхідно обладнати підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній регульованій по висоті робочої поверхні, відокремленої від основної стільниці.

Електричний струм – являє собою прихований тип небезпеки, бо його важко визначити в токо- та неструмоведучих частинах устаткування, які є хорошими провідниками електрики. Смертельно небезпечним для життя

людини вважають струм, величина якого перевищує 0,05 А, струм менше 0,05 А - безпечний (до 1000 В). З метою попередження уражень електричним струмом до роботи повинні допускатися тільки особи, що добре вивчили основні правила з безпеки виконання роботи.

Приміщення, де експлуатуються ПК, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні бути не менші за площу перерізу фазового провідника.

Відповідно до правил електробезпеки в службовому приміщенні повинен здійснюватись постійний контроль стану електропроводки, запобіжних щитів, шнурів, за допомогою яких включаються в електромережу комп'ютери, освітлювальні прилади, інші електроприлади. Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ПК, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок - струмоведучі провідники, корпуси стійок ПК і іншого устаткування, яка під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок ВЦ, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

Оскільки в приміщенні використовується понад п'ять ПК, тому на помітному місці встановлено аварійний резервний вимикач, який в разі небезпеки повністю знеструмлює електричну мережу (крім освітлення). В такому випадку при використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволено прокладати їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів, що ми і спостерігаємо у приміщенні.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час проектування пристрою для фотометричного контролю серцевого ритму - 1а [17] (табл. 4.2.1).

Таблиця 4.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях метеорологічних умов, які задовольняють нормативні вимоги використовують систему вентиляції. Приміщення обладнано системою загально обмінної припливно-витяжної вентиляції. На кожену вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки.

Крім того, для підтримання температури в холодний період року використовують загальну систему опалення.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	0,085	0,085	2
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 4.2.3).

Таблиця 4.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення на робочому місці проектувальника є бічне одностороннє.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III поясу світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої точності) зазначені у таблиці 4.2.4:

Таблиця 4.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість ЛК		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє бокове	Бокове	Верхнє або верхнє бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для максимального використання природного освітлення в приміщенні слід систематично очищувати вікна від пилу та встановити жалюзі. Віконні прорізи не затемнюються іншими будівлями.

Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення

4.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочих місцях визначаються за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [18] (табл. 4.2.5).

Таблиця 4.2.5 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творча діяльність, обробка даних	86	71	61	54	49	45	42	40	38	60

Рівень шуму на робочих місцях не має перевищувати 60 дБА, що досягається застосуванням малошумного обладнання, використанням спеціальних матеріалів для обшивки приміщень, а також різноманітними звукопоглинальними пристроями (перегородки, кожухи, прокладки тощо).

4.2.5 Виробничі випромінювання

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих [19] (табл. 4.2.6).

Таблиця 4.2.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень [16].

Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відео термінала при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати ОД бер/год (100 мкР/год).

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати при екранні фільтри, локальні світлофільтри (засоби індивідуального захисту очей) та інші засоби захисту, що

пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат (згідно Директиви № 90/270/ЄС [20]).

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України [21] та «Правила пожежної безпеки в Україні» [22].

За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з нормами технологічного проектування «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [23]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу.

Згідно даних наведених у таблиці 3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості [24] приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (табл. 4.3.1).

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.)

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;

– своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Таблиця 4.3.1. – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				колонни	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогони балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозаймисті рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної

небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Для виготовлення будівельних конструкцій використовуються, як правило, цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. Застосування дерева повинна бути обмежено, а в разі використання необхідно просочувати його вогнезахисними складами.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. д. Застосування води в машинних залах ПК, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ПК необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами якого є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

ВИСНОВКИ

У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи створено пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму, що належить до контрольно-вимірювальної апаратури й призначений для реєстрації пульсу людини до, після та в процесі фізичних навантажень.

У роботі обґрунтовано необхідність такого приладу, окреслено його загальну архітектуру, проаналізовано наявні труднощі та запропоновано шляхи їх усунення. Подано критичний огляд, визначено недоліки існуючих рішень і сформульовано висновок щодо актуальності й доцільності розробки.

Сенсор призначений для експлуатації в помірних кліматичних умовах (кліматичне виконання У з діапазоном середньорічних температур від -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$) і класифікується як апаратура першої групи, тобто пристрій, що функціонує в житлових приміщеннях.

Розглянуто принципову електричну схему, підібрану елементну базу, описано принцип дії та загальне компонування. Проведено порівняння двох існуючих аналогів і вибрано оптимальний варіант як прототип.

Визначено площу й габарити друкованої плати з огляду на обрану елементну базу та щільність розміщення компонентів.

Трасування плати виконано в середовищі Proteus CAD від Labcenter Electronics, що забезпечило автоматизоване проєктування й перевірку електронної схеми.

Для виготовлення друкованої плати зупинилися на комбінованій технології, що давно відпрацьована й повністю забезпечена необхідним устаткуванням.

Як основний матеріал використано двосторонній фольгований склотекстоліт завтовшки 1,5 мм, який відзначається найширшим робочим температурним діапазоном і найменшим температурним коефіцієнтом лінійного розширення.

Беручи до уваги, що крок координатної сітки згідно з ГОСТ 10317-79 становить 0,625 мм, доцільно прийняти третій клас точності плати.

У ході конструкторно-технологічних розрахунків перевірено вібростійкість плати. Розрахована власна частота коливань становить $f_0 = 747$ Гц і не збігається з робочим діапазоном зовнішніх частот ($f_p \approx 80\text{--}100$ Гц), тож вібраційні навантаження не чинять помітного впливу на конструкцію. Також отримано: коефіцієнт динамічності $K_{\text{дин}} = 0,107$; вібропереміщення $S_B = 3,523 \cdot 10^{-7}$ м; граничний прогин плати $\delta_{\text{гран}} = 1,961 \cdot 10^{-11}$ мм.

Плату перевірили на стійкість до ударних навантажень. Розрахунки показали: умовна циклічна частота ударного імпульсу становить $\omega = 157 \text{ с}^{-1}$, а найбільше відносне зміщення дорівнює $Z_{\text{max}} = 0,0034 < 0,0225$ см, що менше граничного значення. Отже, обраний тип кріплення й товщина плати забезпечують найнижчу резонансну частоту, мінімальне ударне прискорення та прийнятне вібропереміщення.

Також визначено середню інтенсивність відмов: $\lambda_{\text{ср}} = 12,40536 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Підраховано паразитні параметри: ємність між сусідніми провідниками $C = 2,805$ пФ; взаємоіндуктивність між доріжками на неекранованій поверхні $M = 18,62$ мГн; для екранованої площини $M = 25,85$ мГн; власна індуктивність окремої доріжки $L = 0,056$ мкГн. Усі значення вписуються в нормативні допуски.

Підготовлено повний комплект конструкторської документації: принципову електричну схему, топологічний робочий кресленик друкованої плати та її складальне кресленик друкованого вузла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вимірювач пульсу : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <http://radioded.ua/skhema-na-mikrokontrollere/izmeritel-pulsa#comment-2712>. - Назва з екрана.
2. Пульсометр : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <https://ua.wikipedia.org/wiki/Пульсометр>. - Назва з екрана.
3. Вимірювач частоти пульсу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <http://xn--d1aigtgr.xn--p1ai/?p=5578>. - Назва з екрана.
4. Барась С.Т. Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем. Навчальний посібник. / С.Т. Барась, Р.Ф. Лободзінська, О.О. Лазарєв. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 82 с.
5. Нікольський О.І. Проектування вузлів електронної апаратури. Навчальний посібник. / О.І. Нікольський, Р.Ф. Лободзінська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 79 с.
6. Patent USA 5810736, МПК H01135/00. Wrist pulse monitor / Opher Pail; filed 25.08.1997 ; issued 13.09.1998.
7. Пат. 90767, МПКН01135/00. Електронний пульсометр з термоелектричним джерелом живлення / Анатилук Л. І., Кобилянський Р. Р. ; заявник і патентовласник Інститут термоелектрики НАН та МОН України. - № u201315451 ; заявл. 30.12.13 ; опубл. 10.06.14, Бюл. №11 – 5с.
8. ATmega88: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://www.gaw.com/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/atmega8.htm>. - Назва з екрана.
9. Proteus. (система автоматизованого проектування) : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : https://ua.wikipedia.org/wiki/Proteus_ – Назва з екрана.
10. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Чинний від 01.01.97. – К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.

11. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Чинний від 01.07.95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 34 с.

12. Павлов С. В. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи. Монографія / Павлов С. В., Кожем'яко В. П., Петрук В. Г., Колісник П. Ф. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. –254 с.

13. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

14. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php

15. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. :Мінбуд України, 2006. 154 с

16. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

17. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

18. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

19. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>

20. Директива № 90/270/ЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

21. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI
22. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
24. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-200

ДОДАТКИ

Додаток А
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМІОЕС
к.т.н., доц. Л.Г. Коваль
“ _____ ” _____ 2025р.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ СЕРЦЕВОГО РИТМУ
Технічне завдання
до бакалаврської кваліфікаційної роботи
за спеціальністю 163 – Біомедична інженерія
08-35.БДР.028.06.000 ТЗ

Керівник к.т.н., доц. кафедри БМІОЕС
Коваль Л. Г.
“ _____ ” _____ 2025 р.
Розробила студентка гр. БМІ-216
Обребська В. Р.
“ _____ ” _____ 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Найменування і область застосування

Найменування: пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму.

Область застосування: відноситься до вимірювальної техніки та використовується в якості пристрою для вимірювання частоти серцебиття після фізичних навантажень.

2 Підстава для розробки:

Підставою для розробки є:

– індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу, та наказ ректора по ВНТУ № 97 20 березня 2025 року.

3 Мета та експлуатаційне призначення:

а) мета – розроблення пристрою для фотометричного контролю серцевого ритму;

б) призначення розробки – використовується в якості пристрою для вимірювання частоти серцебиття після фізичних навантажень людини.

4. Джерела розробки

4.1 Вимірювач пульса : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <http://radiodid.ua/skhema-na-mikrokontrollere/izmeritel-pulsa#comment-2712>. - Назва з екрана.

4.2 Пульсометр : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <https://ua.wikipedia.org/wiki/Пульсометр>. - Назва з екрана.

4.5 Фізкультура та спорт : [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <http://www.ckofr.com/fis/621-pulsometr-cho-eshhe-pomozhet-organizovat-zanyatiya-na-velotrenazhere> . - Назва з екрана.

4.6 Барась С.Т. Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем. Навчальний посібник. / С.Т. Барась, Р.Ф. Лободзінська, О.О. Лазарєв. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 82 с.

4.7 Нікольський О.І. Проектування вузлів електронної апаратури. Навчальний посібник. / О.І. Нікольський, Р.Ф. Лободзінська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 79 с.

4.9 Patent USA 5810736, МПК H01135/00. Wrist pulse monitor / Opher Pail; filed 25.08.1997 ; issued 13.09.1998.

4.10 Пат. 90767, МПКН01135/00. Електронний пульсометр з термоелектричним джерелом живлення/ Анатилук Л. І., Кобилянський Р. Р. ; заявник і патентовласник Інститут термоелектрики НАН та МОН України. - № u201315451 ;заяв. 30.12.13 ; опубл. 10.06.14, Бюл. №11 – 5с.

5. Параметри пристрою

5.1 Склад виробу і вимоги до конструкції

Пристрій складається: із друкованої плати на якій розміщені радіоелементи та корпусу.

Конструктивні вимоги до пристрою та його складових частин:

- габаритні розміри – довжини – 65 мм, ширина – 65 мм,;
- вимоги монтажної придатності до продукції – поставка в зібраному вигляді;

- маса продукції – 0,040 кг;

- захист від вологи, шкідливих випаровувань та корозії, здійснюється за рахунок герметичності та покриттів;
- складові частини пристрою не взаємозамінні;
- деталі та вузли пристрою повинні виготовлятися з матеріалів стійких до дії мастил, вібрацій;
- одиничний вид виробництва деталей, запасні частини не передбачаються.

5.2 Показники призначення

5.2.1 Варіанти виконання

Пристрій виконується в стаціонарному варіанті, живлення відбувається від первинної мережі змінного струму.

5.2.2 Підсилювальні елементи

В якості підсилювальних елементів даного пристрою будуть використовуватись інтегральні мікросхеми.

Показники призначення.

5.3 Вимоги до надійності:

Довговічність – не менше 80 тис. год; безвідмовність – напрацювання на відмову – 20 тис. год; збереженість – повинна забезпечуватися працездатність пристрою в режимі очікування, роботи, консервації; ремонтпридатність – компоноване рішення структури повинно бути таким, що забезпечує легкодоступність до деталей, які вірогідно можуть мати найменший термін служби та відносно простий їх ремонт.

5.4 Вимоги до технологічності розробки - виробництво і експлуатація - конструкції деталей схеми повинна бути такою, щоб забезпечувати їх виготовлення без застосування спеціального обладнання і устаткування.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації по можливості під час розробки конструкції використовувати уніфіковані деталі і стандартні вироби.

5.6 Вимоги безпеки життєдіяльності повинні забезпечувати безпеку під час монтажу, і ремонту. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування каніфолі при пайці у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонту.

5.7 Естетичні та ергономічні вимоги:

Пристрій повинен мати мінімальні розміри. На передній панелі корпусу повинні розмішуватись три цифрові індикатори та випромінюючий діод інфрачервоного діапазону, а також на передній панелі пристрою повинен бути присутній отвір квадратної форми для того, щоб користувач прикладав свій палець та здійснювалась операція вимірювання частоти серцебиття людини. Також на передній панелі пристрою повинен розміщений ІЧ-фоторезистор та змінний резистор для налаштування коректної роботи приладу.

На задній панелі повинен розміщуватись роз'єм живлення із позначенням «5V» та «0,25A» та розміщено вмикач.

Корпус повинен бути виконаний з пластмаси і з'єднаний різьбовим з'єднанням.

Передбачити колір корпусу таким, який би не виражав відмінність від оточуючого середовища де експлуатується пристрій.

5.8 Матеріали, що використовуються для елементів пристрою слід вибирати відповідно до рекомендацій.

5.9 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговуванню і ремонту:

- умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися використання продукції з заданими технічними показниками – продукція призначена для використання у середньоширотних кліматичних умовах;

- час підготовки продукції до використання після транспортування і зберігання – 600 сек.;

- вид обслуговування періодичний;

- періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – 3 дні (один раз в три місяці);

5.10 Вимоги до транспортуванню і збереженню

- можливість транспортування на будь-якому виду транспортних засобів

- захист від ударів під час завантаження і розвантаження

- зберігання на складі готової продукції

- зберігання у законсервованому вигляді

- складування на стелажах.

6 Економічні показники.

Забезпечити мінімальну вартість при застосуванні заданої елементної бази.

Передбачити процес виготовлення пристрою з використанням стандартної елементної бази.

7 Графічна та текстова документація розробленого пристрою повинна відповідати всім діючим стандартам України: ГОСТ 2.104-68, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.704-76, ГОСТ 2.104-68, ГОСТ 2.304-81.

8 Стадії і етапи розробки

8.1. Огляд літературних джерел. Вступна частина..

8.2. Розробка технічного завдання.

8.3. Технічне обґрунтування доцільності розробки.

8.4. Попередній аналіз розробки пристрою.

8.5. Конструкторські розрахунки.

8.6. Виконання графічної частини.

8.7. Оформлення пояснювальної записки та подання її на перевірку.

8.8. Доопрацювання зауважень.

8.9. Захист БДР.

9. Стадії та етапи БДР:

9.1 Теоретична частина:1. Аналітичний огляд питання;2. Опис схеми електричної принципової;3. Конструкторський розділ; 4. Охорона праці.

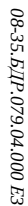
9.2 Графічна частина:1. Схема електрична принципова;2. Кресленик друкованої плати; 3. Складальний кресленик друкованого вузла; 4. Перелік елементів; 5. Специфікація.

Таблиця 1 – Етапи виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Назва розділу бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання
Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	до 20.03.2025
Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	до 21.04.2025
Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	до 19.05.2025
Виконання розділу «Охорона праці»	до 30.05.2025
Попередній захист БКР	06.06.2025
Нормоконтроль БКР	09.06.2025
Рецензування БКР	13.06.2025
Захист БКР	20.06.2025

Розробила студентка групи БМІ-216

_____ Обребська В.Р.

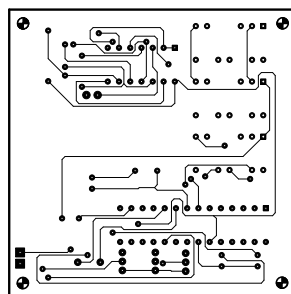
[illegible]

Інв. № опир.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
--------------	---------------	--------------	--------------	---------------

Додаток В. Перелік елементів

[illegible]

[illegible]

 $\sqrt{Rz\ 40\ (\sqrt{})}$

1. *Розміри для довідок
2. Плату виготовляють комбінованим методом
3. Плата повинна відповідати ГОСТ 23.751-86
4. Крок координатної сітки 0,625 мм
5. Параметри елементів друкованого монтажу відповідно до таблиці 1,2
6. Форма контактних площадок довільна, мінімальний розмір становить 0,5 мм
7. Відстань між довільними двома отворами $\pm 0,08$ мм
8. На плату з 1 сторони нанести маску
9. Маркування радіоелементів виконати фарбою ТНПФ-51, чорною, відповідно до докреслення
10. Дата виготовлення та заводський номер маркувати фарбою БМ, білою, шрифтом ЗПР-П згідно ГОСТ 26020-82

Таблица 1

Умове позначення отворів	Діаметр отвору, мм	Діаметр конт. площ.	Наявність метализації	Кількість отворів
○	0,5	1,2	ε	90
●	0,7	1,4	ε	30
⊗	2,5	-	-	4

Таблица 2

Параметри зображеного рисунок	Розміри, мм	
	в широкіх місяцях	у вузьких місяцях
Ширина провідника	0,45	0,25
Відстань між провідниками	0,45	0,25

[illegible]

ИВ. № опит.	Планис и дата	Бзам. ИВ. №	ИВ. № дьол.	Планис и дата	

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
				<u>Документи</u>		
A4			08-35.БДР.028.06.001	Топологічне креслення		A4
A3			08-35.БДР.028.06.000ЕЗ	Схема електрична принципова		A3
A3			08-35.БДР.028.06.001СК	Складальне креслення плати		A3
A4			08-35.БДР.028.06.000ПЕЗ	Перелік елементів		A4
				<u>Деталі</u>		
A3		1	08-35.БДР.028.06.001	Плата	1	A3
				<u>Інші вироби</u>		
				Діоди		
		2		ACC135	2	VD2, VD3
		3		HIRB5-43Gb-C	1	VD1
				Кварцовий резонатор		
		4		HC-49U-4	1	ZQ1
				Конденсатори		
		5		0805-0,1 мкФ ±10% -25B-X7R	1	C4
		6		0805-1 мкФ ±10% -25B-X7R	1	C1
				ГОСТР1-12-0.125		
		7		SAMWHA 100 мкФ ±10% 16B	2	C3-C5
		8		SAMWHA 1000 мкФ ±10% 25B	1	C2
				ГОСТР1-16		
				Мікросхеми		
		9		ATmega88	1	DD1
					08-35.БДР.028.06.000	
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		
Розробив	Обробська В.Р.					
Перевірів	Коваль Л.Г.					
Рецензент					Пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму Специфікація	
Н. контроль	Коваль Л.Г.					
Затвердив	Коваль Л.Г.					
					Літера	Аркуш
					1	2
					ВНТУ, зр. БМІ-21б	

[illegible]

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Пристрій для фотометричного контролю серцевого ритму

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 3,28 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

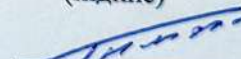
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

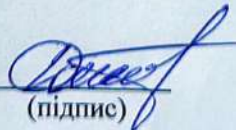
Коваль Л. Г., завідувач кафедри БМІОЕС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Тимчик С. В., гарант ОПП «Біомедична інженерія»
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Штофель Д. Х.
(прізвище, ініціали)

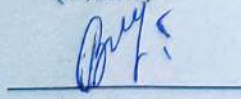
З висновком експертної комісії ознайомлені:

Керівник


(підпис)

Коваль Л. Г., зав. каф. БМІОЕС
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Обребська В. Р.
(прізвище, ініціали)