

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))


## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### «МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ»

Виконав: студ. 2-го курсу, групи МНТ-22м  
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна  
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Ковальчук Я.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор, проф. каф. ІРТС

 Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., доцент, проф. каф. ІКСТ

 Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«19» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

 «20» 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних електронних систем  
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність – 153 Мікро- та наносистемна техніка  
Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ковальчуку Ярославу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину»

керівник роботи д.т.н., проф., проф. кафедри ІРТС Семенов А.О.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 р. №247.

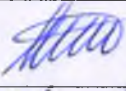
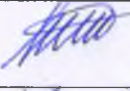
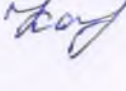
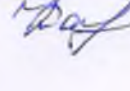

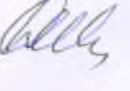
2. Строк подання студентом роботи 15.12.2023р.

3. Вихідні дані до роботи: Марки бензину А92, А95, А98. Напруга живлення ±9В. Струм споживання не більше 50 мА. Кількість каналів вимірювання - 4 з частотами сигналів 384,6 кГц; 507,6 кГц; 588,2 кГц; 393,7 кГц відповідно.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз принципів роботи пристроїв для контролю октанового числа бензину. Розрахунок та дослідження конструкції пристрою для контролю октанового числа бензину. Аналіз комп'ютерного моделювання пристрою для контролю октанового числа бензину. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема пристрою для контролю октанового числа бензину. Вихідні сигнали усіх каналів: 1- сигнал першого каналу; 2 - сигнал четвертого каналу; 3 – сигнал другого каналу; 4 – сигнал третього каналу. Модель пристрою в Thermal Desktop. Зміна температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі. Графіки залежності температури від часу для плати. Графіки залежності температури від часу для елементної бази. Провідники між зовнішнім середовищем та платою. Вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі. Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати. Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для елементної бази.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-10.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	11.10.2023-26.10.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	27.10.2022-12.11.2022	
7.	Економічна частина.	13.11.2023-16.11.2023	
8.	Охорона праці (ОП).	17.11.2022-22.11.2022	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	23.11.2023-28.11.2023	
10.	Нормоконтроль.	29.11.2023-30.11.2023	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	01.12.2023	
12.	Захист МКР ЕК.	21.12.2023-22.12.2023	

Студент

  
( підпис )

Ковальчук Я.С.

Керівник роботи

  
( підпис )

Семенов А.О.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.382

Ковальчук Я.С. Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину: магістерська кваліфікаційна робота – Вінниця: ВНТУ 2023 р. – 131 стор., 27 рис., 27 бібл., 17 табл. – українською мовою.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину. Проведено літературний огляд поставленого питання, аналіз існуючих аналогів та обґрунтовано актуальність обраної теми.

Досліджено аналіз основних засобів контролю октанового числа бензину та на основі виконаних експериментальних досліджень автомобільного пального за допомогою ємнісного первинного перетворювача та аналізу отриманої математичної моделі виявлено таке: схема заміщення двополюсника в частотному діапазоні 1 кГц–100 кГц, яким подається цей об'єкт контролю, є чотириелементною; на частотах тестового сигналу звукового та ультразвукового діапазону реактивна складова імпедансу такого двополюсника має дві складові, які лінійно залежать від частоти, а активна – стала складова та складова, яка нелінійно залежить від частоти.

Проведені розрахунки електромагнітної сумісності елементів, механічної міцності друкованої плати: на удар, на вібрацію, на надійність.

Під час розрахунку плати, електромагнітну сумісність на провідниках, які розташовані на одній поверхні друкованої плати взаємну ємність та індуктивність провідників, які розташовані на одній поверхні друкованої плати становлять 9,722 пФ та 28,43 нГн, які знаходяться в межах норми; при розрахунку плати на надійність, було отримано 80520 годин безвідмовної роботи; при розрахунку на удар бачимо що спосіб кріплення та товщина плати забезпечують найменшу частоту власних коливань, найбільше віброзміщення при дії вібрації і найменше ударне прискорення при дії ударів.

Економічна частина включає розрахунок кошторису витрат на проведення роботи з даної теми і ефективності отриманих в результаті виконання результатів.

У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проведений аналіз умов праці в приміщенні, в якому виконується робота, а також проведено оцінку безпеки в разі дії електромагнітного випромінювання досліджуваного мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину.

**Ключові слова:** контроль октанового числа бензину, елементна база, оптоелектроніка, спектрометрія, волоконно-оптична, акустична, мікропроцесорна техніка.

## ABSTRACT

Kovalchuk Ya.S. Microelectronic device for controlling the octane number of gasoline: Master's thesis - Vinnytsia: VNTU 2023 - 131 pages, 27 figures, 27 bibliography, 17 tables. - in the Ukrainian language.

The master's thesis is devoted to the development of a microelectronic device for controlling the octane number of gasoline. A literature review of the question was conducted, an analysis of existing analogues was conducted, and the relevance of the chosen topic was substantiated.

The analysis of the main means of controlling the octane number of gasoline was studied, and on the basis of the performed experimental studies of automotive fuel with the help of a capacitive primary converter and the analysis of the obtained mathematical model, the following was found: the circuit of the replacement of the bipolar switch in the frequency range of 1 kHz–100 kHz, which is supplied to this object of control, is four-element; at the frequencies of the test signal in the sound and ultrasonic range, the reactive component of the immittance of such a bipolar device has two components that depend linearly on the frequency, and the active component has a constant component and a component that depends nonlinearly on the frequency.

Calculations of the electromagnetic compatibility of the elements, the mechanical strength of the printed circuit board: for impact, for vibration, for reliability.

When calculating the board, the electromagnetic compatibility on the conductors that are located on the same surface of the printed circuit board, the mutual capacitance and inductance of the conductors that are located on the same surface of the printed circuit board are 9.722 pF and 28.43 nH, which are within the normal limits; when calculating the reliability fee, 80,520 hours of trouble-free operation were obtained; when calculating the impact, we see that the method of fastening and the thickness of the board provide the lowest frequency of natural oscillations, the largest vibration displacement under the action of vibration and the smallest impact acceleration under the impact of impacts.

The economic part includes the calculation of the cost estimate for the work on this topic and the efficiency of the results obtained as a result of the implementation.

In the section "Occupational protection and safety in emergency situations" an analysis of the working conditions in the room where the work is carried out was carried out, as well as an assessment of the safety in the event of electromagnetic radiation of the studied microelectronic device for controlling the octane number of gasoline.

**Key words:** gasoline octane number control, element base, optoelectronics, spectrometry, fiber optic, acoustic, microprocessor technology.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ</b> .....	7
1.1 Класифікація показників якості палива .....	7
1.2 Способи аналізу якості палива.....	13
1.3 Дослідження бензину за діелектричним методом .....	18
1.4 Оцінка ефективності .....	22
<b>2 РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ</b> .....	23
2.1 Розробка конструкції друкованої плати.....	23
2.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок.....	32
2.3 Розрахунок ширини провідників .....	33
2.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати .....	35
2.5 Розрахунок плати на вібростійкість .....	37
2.6 Розрахунок на дію удару.....	40
2.7 Розрахунок надійності за раптовими відмовами.....	42
<b>3 АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ</b> .....	47
3.1 Розрахунок габаритних розмірів пристрою.....	47
3.2 Розрахунок теплового режиму пристрою .....	50
3.3 Комп'ютерне моделювання пристрою для контролю октанового числа бензину в програмі OrCAD PSpice.....	56
3.4 Моделювання плати пристрою для контролю октанового числа бензину за допомогою програми Thermal Desktop .....	62
3.5 Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі .....	64
3.6 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою .....	69
3.7 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі .....	71
3.8 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з граничною точкою .....	73

<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>76</b>
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	76
4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	80
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи .....	82
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	96
4.5 Висновок до розділу .....	101
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>102</b>
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	103
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії .....	106
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій .....	114
5.4 Висновок до розділу .....	117
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>118</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>120</b>
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	124
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи .....	131

## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

В даний час в умовах бурхливого технологічного розвитку і постійного вдосконалення технічних засобів не тільки зростає кількість нових завдань у цій галузі, а й технічних рішень відомих традиційних завдань. Для цього люди шукають і створюють нові технологічні засоби.

Обсяги продажів неякісного автомобільного палива в Україні і СНД перевершують всі розумні межі і за різними оцінками становлять від 30 до 70% всього обсягу продажів.

У сучасних автомобілях, обладнаних електричною системою подачі та розпилення бензину з комп'ютеризованим блоком керування подачею бензину, октанове число бензину є одним із параметрів нормальної роботи блоку керування. Якщо октанове число не відповідає стандарту, то двигун працюватиме не в оптимальному режимі, порушуватиметься керування вприскуванням палива і навіть призведе до аварійного відключення електроенергії [1]. Наявність приладу контролю якості палива (КЯП), є дуже бажаною як для водія, так і при сервісному обслуговуванні [2].

**Аналіз останніх досліджень.** Створення та впровадження комплексу швидкодіючих приладів оперативного контролю вуглеводневих палив дозволить підприємствам оптимізувати процес виробництва, впорядкувати ціноутворення і продаж, виключити рекламації споживача за якістю, зміцнитися на світовому ринку нафтопродуктів. Накопичений матеріал з визначення окремих показників якості моторних палив, досягнуті успіхи в їх дослідженні, поліпшені відомі та запропоновано нові методи аналізу [3]. Поряд з хімічними та фізико-хімічними методами визначення якості нафтопродуктів, використовуються сучасні фізичні методи. Однак жоден із сучасних методів не дозволяє з вичерпною повнотою визначити показники якості палива. Лише комбінуючи методи певним чином, можна вирішити цю задачу [4]. За допомогою комбінації методів стало можливим оперативно



визначати показники якості в лабораторних, технологічних і польових умовах [5].

**Метою роботи** є покращення техніко-економічних параметрів приладу для контролю октанового числа бензину.

Для досягнення поставлених цілей необхідно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати принцип дії приладу для вимірювання октанового числа бензину;
2. Дослідити пристрій для контролю октанового числа бензину на основі ємнісного ефекту приладу з від'ємним диференціальним опором;
3. Виконати розрахунки та комп'ютерне моделювання в програмному середовищі приладів Micro-Cap пристроєм для контролю октанового числа бензину на основі ємнісного ефекту приладу з від'ємним диференціальним опором;
4. Провести експериментальні дослідження пристроєм для контролю октанового числа бензину.

**Об'єктом дослідження** є процес визначення октанового числа бензину.

**Предметом дослідження** є пристрій для контролю октанового числа бензину.

**Методи дослідження.** Для дослідження існуючої моделі пристроєм для контролю октанового числа бензину було використано методи математичного моделювання та комп'ютерного моделювання.

**Практичне значення одержаних результатів.** У результаті досліджень розроблений пристрій для контролю октанового числа бензину, який характеризується схемотехнічною простотою, дешевизною, високою надійністю та точністю за рахунок використання ємнісного ефекту пристроєм з від'ємним диференціальним опором.

**Апробація та публікація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.** Основні наукові результати роботи апробовано у доповіді на

міжнародній науково-технічній конференції. Опубліковано 1 статтю в збірнику праць міжнародної науково-технічної конференції [6].

# 1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

## 1.1 Класифікація показників якості палива

Основними показниками якості палива є антидетонаційні (октанове число бензину і цетанове число дизеля), щільність і питомий вміст канцерогенів, таких як сірка і свинець. Антидетонаційні властивості палива визначають його ефективне згоряння, безпосередньо пов'язана з експлуатаційними та екологічними характеристиками транспортних засобів. Сірка, переважно у формі різноманітних сполук, входить до складу всіх нафтопродуктів, погіршує їх якість, забруднює технологічне обладнання. Збільшення вмісту сірки в паливі від 0.033 % до 0.15 % (мас.) знижує потужність двигуна на 10.5%, збільшує витрату палива на 12 %. Крім того, сірчисті сполуки викликають корозію деталей двигуна і технологічного обладнання, призводить до збільшення вартості обслуговування. При згорянні палив, що містять сірчисті сполуки, утворюється діоксид сірки, який вкрай несприятливо впливає на екологічну обстановку, тому в технічні вимоги на нафтопродукти введені показники, що нормують загальний вміст сірки.

У номенклатурі засобів аналітичного контролю нафтопродуктів важливе місце займають вимірювачі щільності, які дають основну інформацію про параметри технологічного процесу. З щільністю пов'язані практично всі інші показники якості нафтопродуктів, тому розробку технологічних густиномірів важко переоцінити. Широкому промислому впровадженню існуючих поточних густиномірів в нафтохімічному виробництві перешкоджають їх низькі метрологічні характеристики, трудомісткість монтажу та обслуговування, великі габарити, мала надійність. Немає жодного серійного вітчизняного густиноміра, який успішно експлуатувався б в технологічних умовах.

В даний час на всіх заводах України контроль детонаційної стійкості і вмісту сірки проводиться шляхом спалювання з подальшим аналізом продуктів згорання. Тривалість таких методів неприпустимо велика, вони не придатні для технологічного контролю нафтопродуктів в процесі виробництва і тим більше при для бортових систем контролю рухомих об'єктів.

Створення та впровадження комплексу швидкодіючих приладів оперативного контролю вуглеводневих палив дозволить підприємствам оптимізувати процес виробництва, впорядкувати ціноутворення і продаж, уникнути рекламаций споживача щодо якості, зміцнитися на світовому ринку нафтопродуктів [4]. Накопичено матеріал з визначення окремих показників якості моторних палив, досягнуті успіхи в їх дослідженні, покращені відомі та запропоновано нові методи аналізу. Поряд з хімічними та фізико-хімічними методами визначення якості нафтопродуктів, використовуються сучасні фізичні методи. Однак жоден із сучасних методів не дозволяє з вичерпною повнотою визначити показники якості палива. Лише комбінуючи методи певним чином, можна вирішити цю задачу. За допомогою комбінації методів стало можливим оперативно визначати показники якості в лабораторних, технологічних і польових умовах.

Перспективним напрямком розробки приладів КЯП з точки зору оперативного контролю слід визнати електромагнітну техніку, об'єднуючу в собі електродинаміку, оптоелектроніку, спектрометрію, а також акустику, яка практично не застосовується в даний час при дослідженні нафтопродуктів. Дослідження палива шляхом пропускання через нього електромагнітного та акустичного сигналів різної частоти при одночасному вимірюванні щільності і температури з подальшою обробкою інформації в ЕОМ дає практично необмежені можливості побудови приладів КЯП. Розвиток електронної елементної бази, лазерної, волоконно-оптичної, акустичної та мікропроцесорної техніки створюють широкі можливості для створення швидкодіючих приладів оперативного контролю нафтопродуктів.

Останнім часом з'явилися роботи по створенню та дослідженню пристроїв і методів оперативного контролю нафтопродуктів, проте вони не розв'язують проблеми, пов'язані з комплексним вирішенням поставлених завдань[5].

Всі рідкі вуглеводневі палива поділяються на такі групи: бензини, реактивні (керасини) і дизельні палива. Зазначені групи визначаються температурою википання відповідної фракції в крекінгу нафти. Бензинова фракція – википає в межах 50 – 180 °С, використовується як основний компонент товарного авто бензину. Гасова фракція – википає в межах 120 – 315 °С, використовується як головний компонент палив для реактивних і тракторних карбюраторних двигунів. Дизельна фракція – википає при 180 – 360 °С, використовується як паливо для дизельних двигунів. По температурі википання не можна провести чітких меж між видами палив, тому кожен конкретний вид палива визначається не тільки відповідною фракцією, але і різними присадками, що додаються в основну фракцію з метою отримання певних властивостей. Залежно від властивостей використовуваної нафти товарне паливо може вийти і без використання присадок.

Бензин – найбільш поширений вид моторного палива – це вуглеводневе середовище, що є дистилятом прямої перегонки нафти. Основними показниками якості бензинів є фракційний склад, тиск насичених парів, щільність і детонаційна стійкість. Фракційний склад характеризується температурами початку кипіння і відгону при стандартній перегонці. Ці точки визначають умови запуску двигуна, форсування після прогріву і повного згоряння палива.

Основним показником якості бензину є антидетонаційні показники, які визначають, чи може паливо нормально горіти без вибухів і детонацій. Кількісним показником антидетонаційних характеристик є октанове число. Від антидетонаційних показників залежить ступінь стиснення паливно-повітряної суміші в циліндрі, потужність двигуна і витрата палива. Явище детонації пов'язане з накопиченням реакційноздатних частинок (головним

чином оксидів) в об'ємі горіння. Антидетонаційні властивості бензину залежать від його хімічного складу. Алкани, швидше за все, вибухають під час згоряння палива в двигунах з іскровим запалюванням, а найменшою – ізоалкани і ароматичні вуглеводні. Алкени і нафтеніві вуглеводні займають у цьому ряду проміжне положення.

Оцінка антидетонаційних властивостей бензину здійснена методом порівняння їх з двома еталонними сполуками – це ізооктаном (2,2,4 – триметилметаном), стійкість якого умовно прийнята за 100 пунктів, і Н-гептаном, стійкість якого прийнята за 0. Змішанням ізооктану з Н-гептаном в різних обсягах отримують проміжні значення октанових чисел від 0 до 100 пунктів. Октанове число дорівнює процентному змісту ізооктана в суміші з Н-гептаном, що при стандартних умовах випробувань детонує аналогічно, як і контрольований бензин.

Зазвичай застосовують два методи дослідження октанових чисел – моторний і дослідницький. Не вдаючись у подробиці, відзначимо лише, що моторний метод краще характеризує антидетонаційні властивості бензинів в дорожніх умовах при форсованому режимі роботи двигуна. У міських умовах, коли робота двигуна пов'язана з невисокими швидкостями і частими зупинками, антидетонаційні властивості краще характеризуються дослідним методом.

Різниця між значеннями октанових чисел, що визначаються по моторному і дослідницького методів, називається чутливістю палива і покриває детонаційну стійкість бензинів при різних режимах роботи двигуна. Вона залежить від групового складу палива. На практиці прийнято октанове число низькосортних бензинів (від 70,0 до 80,0) атестувати за моторним методом, для високосортних бензинів (від 80,0 до 98,0) – по дослідницького методів. В обох методах використовується моторна установка.

Зазначені фракції є сировиною для отримання товарних бензинів. Шляхом додавання в вихідний бензин різних компонентів, в основному

вуглеводнів, з відомими октановими числами отримують продукт необхідної якості.

Останнім часом знайшли застосування бензини з октановим числом вище 100. В якості еталонного палива в цьому випадку застосовується технічний ізооктан з добавками тетраетилсвинцю (ТЕС), що вводиться у вигляді етилової рідини, що представляє собою суміш ТЕС, галогенованих вуглеводнів, антиокислювача.

Товарні бензини поділяються на дві великі групи: етильовані і не етильовані. Етиловий бензин містять у своєму складі тетраетил свинець (ТЕС) – вкрай отруйна речовина, яка використовується для отримання високооктанових бензинів. Виробництво етилизованого бензину в даний час значно скорочено, а їх застосування в містах забороняється екологічними службами.

Бензини підрозділяються на авіаційні та автомобільні. Авіаційні бензини відрізняються по хімічному складу від автомобільних, як правило, мають октанове число, близьке до 100.

Авіаційні бензини, крім октанового числа, характеризуються також показником сортності. Сортність авіаційного палива – це потужність двигуна у відсотках до потужності двигуна, що працює на еталонному ізооктані, сортність якого приймається за 100 одиниць. Визначається також на спеціальних установках методом спалювання. Автомобільні бензини виготовляються з відповідних фракцій прямої перегонки нафти, каталітичного крекінгу і риформінгу з добавкою при необхідності високооктанових компонентів – алкілата і ізомеризату. Для виробництва автомобільного бензину можуть бути використані також продукти термічного крекінгу і коксування. Автомобільні бензини випускаються шести марок, що класифікуються за октановим числом: А-76, А-91, А-92, А-93, А-95, А-98. Крім того, поділяються на літні та зимові, що відрізняються тільки відповідними добавками, що поліпшують експлуатаційні властивості при низьких і високих температурах. Вимоги, що пред'являються до

бензинів, дуже різноманітні і викладені у відповідних ГОСТах і довідниковій літературі.

Всі види палив паспортизуються різноманітними показниками якості (10 – 15 показників). Спільними для всіх видів палив є наступні показники: щільність, детонаційна стійкість (октанове або цетанове число), масова частка сірки, фракційний склад, кислотність, вміст смол, води і механічних домішок. Вміст води і домішок за всіма видами ГОСТ неприпустимі, тому визначення показників якості можливе тільки при повній їх відсутності.

Найважливішими є також спектрометричні характеристики, які визначають залежність оптичної щільності або коефіцієнта пропускання від довжини хвилі.

Практично між усіма зазначеними параметрами існують явні чи приховані взаємозв'язки, деякі з яких відомі і описані аналітичними залежностями. У загальному випадку можна синтезувати прилад, зрозумілу потрібним характеристикам.

На вказані параметри впливають не тільки необхідні показники якості, але і технологія виробництва, хімічний склад палива, структура вуглеводнів, особливості використовуваного вуглеводневої сировини, що значно ускладнює вирішення поставленого завдання і потребує диференційованого підходу і багатофакторного аналізу при пошуку шуканих кореляційних залежностей. Важливе значення мають також методика проведення вимірювань і вживане обладнання.

В даний час накопичений великий матеріал по якісному і кількісному контролю якості палив. Досягнуто значних успіхів в їх дослідженні, поліпшені відомі та запропоновано нові методи аналізу. Поряд з хімічними та фізико-хімічними методами визначення якості палив, використовуються фізичні, зокрема спектрометричні методи. Однак, жоден із сучасних методів не дозволяє з вичерпною повнотою визначити склад палива, визначаючого октанове число або вміст корисних і шкідливих компонентів. Лише комбінуючи методи певним чином, можна вирішити цю задачу. За



допомогою комбінації методів стало можливим визначати вміст сірки в нафтопродуктах у вигляді елементної сірки, сірководню, меркаптанів, сульфідів і дисульфідів . Інша кількість сірчистих сполук, визначене за різниці, відноситься до залишкових і звичайно являє гомологи тιοфена і конденсовані високомолекулярні продукти.

## 1.2 Способи аналізу якості палива

Способи аналізу якості палив можна розбити на наступні групи:

- 1) Якісні способи визначення присутності компонентів;
- 2) Кількісні способи визначення сумарного вмісту різних компонентів, і обчислення по їх процентному змісту окремих показників якості, таких, як октанове число або вміст сірки;
- 3) Інтегральні кількісні способи визначення показників якості непрямыми методами за кореляційних залежностях, що зв'язує необхідний показник з електромагнітними параметрами палива.

Якісні методи, що дозволяють визначати лише якийсь граничний склад визначаємого компонента, не задовольняють виробників і споживачів нафтопродуктів, так як не дають можливості досить точно охарактеризувати паливо.

Кількісні методи визначення показників якості палива можна розділити на дві великі групи: хіміко-аналітичні методи, засновані на спалюванні або інших видах окислення нафтопродукту з подальшим аналізом продуктів хімічних реакцій, електрофізичні апаратурно-аналітичні методи, засновані на пропусненні електричних, електромагнітних і акустичних сигналів через досліджувані нафтопродукти.

Існує багато добре освоєних методів визначення якості нафтопродуктів, заснованих на спалюванні і титруванні. Однак, очевидно, що ці методи непридатні для створення потокового аналізатора, так як не задовольняють вимогам з вибухобезпеки, швидкодії, простоті

обслуговування. Поточний контроль якості може бути здійснений тільки на основі методів, пов'язаних з пропусканням електричних і електромагнітних сигналів через досліджуване паливо. Розглянемо докладніше відомі електрофізичні методи і конструкції контролю досліджуваних показників якості.

Традиційно октанове число (ОЧ) бензинів і цетанове число (ЦЧ) дизельних палив вимірюється на випробувальних двигунах внутрішнього згоряння по моторному або дослідницького методів, де вимірюється детонація палива, що спалюється в циліндрі двигуна, який попередньо калібрується на еталонних сумішах. Процес вимірювання на двигуні тривалий, дорогий і не має ні яких перспектив в сенсі організації безперервного контролю октанового числа безпосередньо в технологічному процесі. Це єдиний метод, який реалізує пряме вимірювання октанового або цетанового числа і не залежить від складу суміші. У зв'язку з цим метод використовується повсюдно і включений в державні стандарти України та інших країн світу. Однак, метод володіє великою кількістю недоліків. Клапанні зазори, зміна умов підведення палива, ретельність підготовки еталонних сумішей, нагар в двигунах, знос установки, суб'єктивність відліку є факторами, що приводять до появи помилок. Не дивлячись на те, що атестаційна похибка використовуваних установок становить 0,5 од., реально різниця показань дещо вища. Настільки низька точність вимірювань в даний час не задовольняє нафтопереробників, так як перевитрата присадок або повторне компаундує призводить до значних фінансових втрат.

Для підвищення ефективності роботи нафтопереробних заводів потрібно вимірювати ОЧ безпосередньо в технологічному процесі, що дасть можливість оперативно коригувати режим змішування компонентів бензину. Тому давно ведеться пошук альтернативних методів вимірювання октанового числа бензинів і цетанового числа дизельних палив.

В даний час запропоновані методи дослідження бензинів, які уможливають визначати ОЧБ без спалювання в двигуні. Це октанометр,

заснований на методі "холодного" окислення бензину в реакторі при заданій температурі, в якому максимальний тиск реакції в реакторі має експонентну залежність від октанового числа. За таким принципом працює октаномір «Морінекс» , розроблений американською фірмою ІОР, а також вдосконалений макетний зразок вітчизняного приладу. Принцип роботи заснований на періодичному пропусненні через реактор, нагрітий до температури 290-300 градусів, бензино-повітряної суміші. У нагрітому реакторі протікає реакція холодно полум'яного окислення з виділенням тепла. У реактор поперемінно подаються порції випробуваного бензину та еталонної суміші, а октанове число визначають за стрибком температури в реакторі у порівнянні з температурою палива на вході. Точність методу невисока і залежить від вуглеводневого складу палива. Для підвищення точності установку доповнюють датчиком тиску і клапаном, при цьому вимірювання проводять при певній температурі з реєстрацією тиску в реакторі. Було встановлено, що шляхом контролю температури і результуючого тиску при окисленні проби можна визначити октанове число бензину. Характеристика зміни тиску в реакторі від октанового числа палива добре описується експоненційною залежністю.

Більш перспективними слід визнати методи, пов'язані з пропусканням через аналізовану пробу електромагнітних випромінювань різних частот. Магнітно-резонансні, рентгеноскопічні і радіоактивні методи мають суттєві недоліки, пов'язані з дорожнечою, великими габаритами і екологічною безпекою. На основі компромісу «ціна - якість - надійність - швидкодія» найбільш прийнятними є електромагнітні, зокрема оптичні, а так само електронно-акустичні методи.

Серед великого вибору електромагнітних найбільш дешеві і ефективні імпедансні і радіочастотні методи, так як вони пов'язані із застосуванням широко доступної апаратури та мікросхемо техніки. Мікрохвильові і електроаналітичні методи порівняні з низькочастотними по точності, однак більш дорогі по апаратурній реалізації. Останнім часом на ринку з'явився

імпендансний прилад, для вимірювання октанового числа бензину і цетанового числа дизельних палив, виробництва фірми «Радіус» міста Томська і прилад АК-3 для аналізу якості ГСМ. Принцип роботи цих приладів заснований на зміні діелектричної проникності палива залежно від його октанового числа з поправкою на температуру. Заявлені технічні характеристики цього приладу не підтверджуються, що пов'язано з недоробленістю схемотехніки, а також конструкції датчика і програми обробки сигналів.

Охарактеризуємо докладніше оптоелектронні методи, які поділяються на дві великі групи. У методах з окисненням оптичний сигнал пропускається через гази, отримані в результаті спалювання палива. Потім сигнал аналізується абсорбційним або спектрометричним методам. Необхідність спалювання палива обумовлює явні недоліки цього методу, хоча не можна відмовити йому в потенційній точності. Більш перспективними серед оптичних методів слід визнати прилади, що працюють на пробах без окиснення. Вони дозволяють вимірювати ОЧ безпосередньо в технологічній трубі, досить точні і вибухобезпечні.

Серед оптоелектронних перспективний абсорбційний метод, заснований на поглинанні пробую палива оптичного сигналу, де вимірюється інтенсивність поглинання світла в заданому діапазоні хвиль (0,8 - 2,5 мкм), яка напряму залежить від фракційного складу бензину. Пристрій показав непогані результати на еталонних, лабораторних і товарних бензинах в нормальних кліматичних умовах, проте не забезпечував достатньої стабільності через дуже високу тимчасову і температурну нестабільності світових фільтрів, джерел випромінювання, блоку живлення. При розробці високо стабільних оптичних фільтрів схема цілком працездатна і при використанні сучасної елементної бази дозволить створити дешевий надійний октаномер. На цьому принципі працює широко застосований в Україні американський прилад - октаномер 3X101С, фірми Zeltex.

Це переносний прилад, спеціально розроблений для контролю бензину на пунктах відвантаження і автозаправних станціях, прилад аналізує поглинання випромінювання в діапазоні 800-1100 нм. Оригінальна запатентована оптична схема приладу містить 14 світлофільтрів, в результаті чого утворюється 14 відліків спектру поглинання в зазначеному діапазоні. Далі на основі калібрувальної моделі обчислюється октанове число Q бензину.

Прилад дозволяє зберігати дані про десять калібрувальних характеристиках і обчислює октанове число по моторному і дослідницькому методах, а також середнє значення цих чисел, або антидетонаційний індекс (AKI). Не дивлячись на велику вартість і високу заявлену точність (0,1 од.) експлуатаційні характеристики приладу не витримують критики. Крім низької точності, прилад складний в експлуатації, вимагає складної настройки, комфортних умов роботи, критичний до регіональних особливостей сировини [6].

Відомий також лабораторний аналізатор XX - 440, призначений для експрес аналізу октанового числа бензинів, що не містять свинцю за дослідницьким і моторним методам, а також цетанового числа і цетанового індексу дизельного палива. Аналізатор простий у використанні і має високу надійність, завдяки складним сучасним технологіям і запатентованим розробкам, застосованим при його створенні. Після кожного включення прилад самотестується для досягнення максимальної точності. Результати відображаються на дисплеї і можуть роздруковуватися на вбудованому принтері із вказанням номера проби, дати та часу здійснення випробувань. Користувач може відкалібрувати прилад для аналізу палив в необхідному діапазоні. Пам'ять приладу зберігає до 100 незалежних калібрувань на різні типи нафтопродуктів. Калібрування проводиться за допомогою ЕОМ, яка підключається до приладу через стандартний інтерфейс RS232. Розміри приладу 400x400x600 мм, швидкодія 20 сек, вага 10 кг, вартість - 30 000 \$ США, похибка - не гірше моторної установки.

Спектрометричні методи, засновані на аналізі спектрів поглинання або пропускання палив в широкому діапазоні частот, дозволяють певною мірою зменшити вплив складу сировини на вимірювання детонаційної стійкості. Ці методи використовують принцип спостереження за інтенсивностями великого числа смуг поглинання в інфрачервоних спектрах вуглеводнів і, на відміну від описаних вище приладів, обчислюють октанове або цетанове число по безлічі факторів. Це дозволяє значно зменшити помилки виміру при переході на інший вид сировини. Для ще більшого підвищення точності для кожного виду сировини будується окрема калібрувальна модель, а спеціальні адаптивні алгоритми на підставі аналізу спектральної характеристики здійснюють вибір тієї чи іншої моделі, найкращим чином відбиває залежність спектрального поглинання від октанового числа бензину або цетанового числа дизельного палива. На базі спектрометричних методів розробляються універсальні аналізатори.

Наступний метод обумовлений застосуванням сірчаної кислоти, або метод прямого титрування. У процесі реакції з бензином випробуваної фракції змінюється прирощення температури кислоти. Аналіз ведуть обробкою трьох однакових проб сірчаною кислотою з різною концентрацією з наступним виміром прирощення температури реакційних сумішей, за якими ідентифікують продукт. Ці умови дозволяють визначити як тип нафти, так і марки бензинів.

Всі перераховані методи визначення октанового числа бензину не дозволяють створити малогабаритний і дешевий прилад оперативного контролю якості палива. Застосування ультразвуку в малогабаритних приладах ККТ вирішує поставлене завдання.

### 1.3 Дослідження бензину за діелектричним методом

Метод досліджено на ємнісному первинному перетворювачі з плоскопаралельною конструкцією електродів. Простір між електродами

перетворювача заповнюється бензином тієї ж марки А92, але взятий з різних АЗС (бензин), а саме: «Бензин», «Руно» та «Укрнафта».

Оскільки об'єкт вимірювання є високоомним, то вимірюють параметри адмітансу  $YX$ , а саме: складові реактивної потужності  $Re(YX)$  та активної потужності  $Im(YX)$  [7].

За допомогою вимірювача імітансу в діапазоні частот 60 Гц - 100 кГц рівень тестового сигналу змінюється в діапазоні (0,1 - 2,0) В. Результати дослідження кожної складової в діапазоні частот наведені на рисунку. 1.1.

Дослідження показали, що реактивна складова імпедансу біполярного приладу лінійно залежить від частоти тестового сигналу в заданому діапазоні (рис. 1.1, а). Це показує, що ємність батареї в діапазоні 60 Гц - 100 кГц не залежить від частоти.

Активна складова до 1 кГц незначна, менше 0,1 нСм, а потім змінюється нелінійно зі збільшенням частоти (рис. 1.1, б). Якщо бензин з різних АЗС має трохи різні діючі речовини, то зі збільшенням частоти будуть помітні відмінності в діючих речовинах. Зміни рівня тестового сигналу фактично не впливають на результати вимірювання провідної складової.

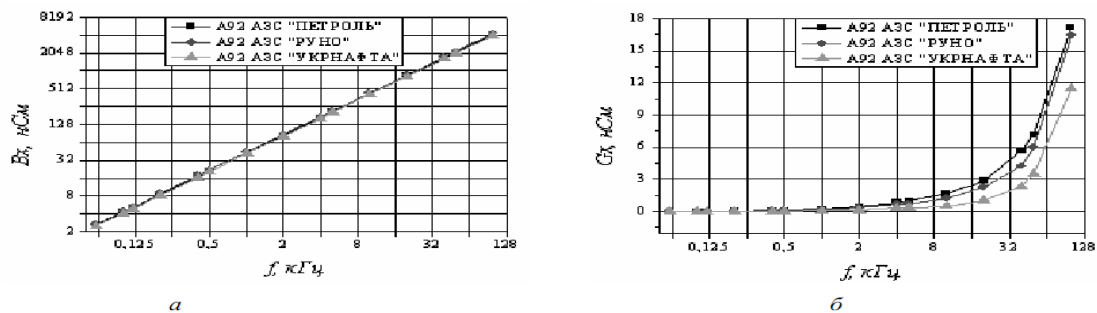


Рисунок 1.1 – Графічне зображення реактивної та активної складових імпедансу для частот тестового сигналу в діапазоні 60 Гц - 100 кГц

На основі отриманих результатів та їх аналізу можна зробити висновок, що в цілому заміна конденсаторних батарей на бензин не обмежується двома елементами. Залежно від характеру отриманої залежності альтернативи

містять елементи, які додатково сприяють нелінійній залежності активних компонентів від частоти.

Окрім цього, оскільки бензин належить до високоомних об'єктів, то істотний вплив на результат мають паразитні параметри.

Враховуючи паразитні параметри схеми підключення батареї до входу пристрою та вихідні параметри первинного перетворювача у вигляді ємності  $C$  і опору  $R$  і провідності  $Y$  ємнісної батареї безпосередньо з бензином, Схема має вигляд наведений на рисунку 1.2.

Провідність  $Y$  ємнісної комірки визначається паралельно з'єднаними елементами  $C1$ ,  $R1$ , які характеризують основну провідність, і послідовно з'єднаними елементами  $C2$  і  $R2$ , які змінюють провідність відповідно до діапазону частот. Усі вказані елементи схеми передають інформацію в певному діапазоні частот.

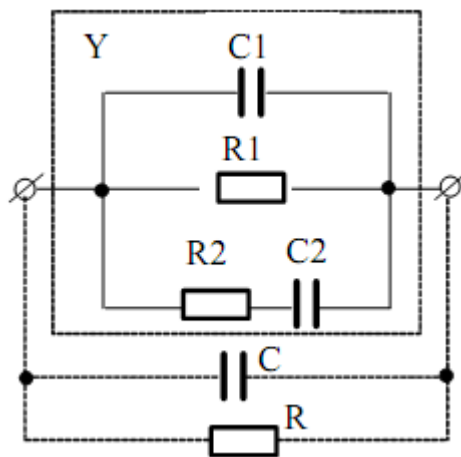


Рисунок 1.2 – Схема заміщення об'єкта контролю

Оскільки зміни параметрів  $C$  і  $R$  схеми мають адитивний характер, то останні можна врахувати перед вимірюванням. Тому розглядається тільки провідність комірки  $Y$  (рис. 1.2), яка описується виразом (1.1).



$$Y = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1 + \frac{j\omega C_2}{1 + j\omega C_2 R_2}, \quad (1.1)$$

звідси ми отримаємо відповідно реактивну та активну складові наведеної схеми:

$$\text{Im}(Y) = \omega C_1 + \omega C_2 \cdot \frac{1}{1 + (\omega C_2 R_2)^2}, \quad (1.2)$$

$$\text{Re}(Y) = C_1 + \frac{\omega^2 C_2^2 R_2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_2^2}. \quad (1.3)$$

Аналіз виразів (1.2) та (1.3) показує, що при  $(\omega CR)^2 \ll 1$  одержимо:

$$\text{Im}(Y) = \omega C_1 + \omega C_2 \quad (1.4)$$

$$\text{Re}(Y) = C_1 + \omega^2 C_2^2 R_2. \quad (1.5)$$

Тобто отриманий вираз справедливий для опису іммітансу досліджуваного акумулятора з бензином у вказаному діапазоні зміни частоти тестового сигналу. На вищих частотах дослідження не проводились, але аналіз математичних моделей показує, що при  $(\omega CR)^2 \gg 1$  компоненти описуються наступним виразом:

$$\text{Im}(Y) = \omega C_1 + \frac{1}{\omega C_2 R_2^2}, \quad (1.6)$$

$$\text{Re}(Y) = C_1 + \frac{1}{R_2}. \quad (1.7)$$

#### 1.4 Оцінка ефективності

Основним показником якості бензину є антидетонаційні показники, які визначають, чи може паливо нормально горіти без вибухів і детонацій. Кількісним показником антидетонаційних характеристик є октанове число. Від антидетонаційних показників залежить ступінь стиснення паливно-повітряної суміші в циліндрі, потужність двигуна та витрата палива [8]. Явище детонації пов'язане з накопиченням реакційноздатних частинок (головним чином оксидів) в об'ємі горіння. Антидетонаційні властивості бензину залежать від його хімічного складу.

Найбільшу схильність до вибуху при згорянні палива в двигунах з іскровим запалюванням мають алкани звичайної будови, найменшою – ізоалкани та ароматичні вуглеводні. Алкени і циклоалкани займають проміжне положення в ряду.

Антидетонаційні властивості бензину оцінюють шляхом порівняння з двома еталонними сполуками: ізооктаном (2,2,4-триметилметаном), стабільність якого, як правило, становить 100 балів, і Н-гептаном, який є стабільним. Октанове число вважається 100 балів Змішування ізооктану з н-гептаном дає різні об'єми октану з проміжним значенням від 0 до 100 балів. Октанове число дорівнює процентному вмісту суміші ізооктану та Н-гептану, яка вибухає так само, як контрольований бензин за стандартних умов випробування.

## 2 РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

### 2.1 Розробка конструкції друкованої плати

#### 2.1.1 Розрахунок площі і габаритів плати

На друкованій платі пристрою для контролю октанового числа бензину, що проектується, встановлено 38 елемент.

Для резисторів типу С2-23 їхня площа встановлення складає 13,2 мм<sup>2</sup>. Тому площа, що займають постійні резистори на друкованій платі становить:

$$S_R = 19 \cdot 13,2 = 250,8 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.1)$$

Для конденсаторів типу К10-17А площа встановлення складає 56,28 мм<sup>2</sup>. Отже площа, яку займають конденсатори на платі становить:

$$S_C = 8 \cdot 56,28 = 450,24 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.2)$$

Для діодів типу КД521 площа встановлення складає 6,24 мм<sup>2</sup>. Отже площа, яку займають діоди на платі становить:

$$S_{VD1} = 4 \cdot 6,24 = 24,96 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.3)$$

Для світлодіодів типу АЛ307БМ площа встановлення складає 22,05 мм<sup>2</sup>. Отже площа, яку займають світлодіоди на платі становить:

$$S_{VD2} = 3 \cdot 22,05 = 66,15 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.4)$$

Для операційних підсилювачів типу TL082CN площа встановлення складає  $80 \text{ мм}^2$ . Отже площа, яку займуть операційні підсилювачі на платі становить

$$S_{op} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.5)$$

Загальна площа самої друкованої плати буде складати

$$S_{дп} = (2...5) \cdot \sum S_{ел}, \quad (2.6)$$

$$S_{дп} = 5 \cdot 1112,15 \text{ мм}^2;$$

$$S_{дп} = 5560,75 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, площа друкованої плати повинна не перевищувати  $5560,75 \text{ мм}^2$ .

Отже, обираємо розмір плати  $50 \times 100 \text{ мм}$ .

### 2.1.2 Розробка топології та компоновання друкованої плати

Монтаж навісних елементів на друкованих платах здійснюється згідно ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. При розміщенні компонентів необхідно враховувати такі фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація габаритних розмірів, забезпечення тепловіддачі та ремонтпридатність.

При трасуванні необхідно досягти мінімальних довжин зв'язків, мінімізувати паразитні з'єднання між провідниками і компонентами і, по можливості, досягти рівномірного розподілу нависаючих компонентів на платі [9].

Через складність відстеження ми вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку розміщуємо в початку координат згідно ГОСТ 2.417-78. Крім того, всі операції автоматизовані за допомогою системи автоматизованого проектування OrCAD 9.2.

Ми почали розробку друкованої плати, завантаживши OrCAD Layout і вибравши опцію File/New.

Спочатку в робочу папку введіть назву технічного шаблону - default.tch (відноситься до стандартного набору OrCAD).

Далі виберіть у робочому каталозі файл списку з'єднань shema.mnl, у якому в табличній формі описано електричні з'єднання між усіма компонентами, що використовуються для трасування.

Після цього вказуємо ім'я файлу дошки, яку ми будемо створювати. Він матиме розширення \*.max; для простоти ми називатимемо це шаблоном. максимум.

Коли список з'єднань завантажується, для кожного символу схеми в бібліотеці реєстрів компонентів \*.LLB (бібліотеці відбитків) вибирається відповідний реєстр (керується властивостями відбитка друкованої плати або файлом System.prt.).

Клацніть на панелі «Підключити існуючий слід до компонента» та, коли відкриється діалогове вікно, виберіть назву та реєстр бібліотеки, зображення якої відповідатиме реле, оскільки для них не зарезервовано місця. Після завершення завантаження списку з'єднань на робочому екрані OrCAD Layout було отримано корпус компонентів з електричними з'єднаннями для проекту.

Налаштування сітки міліметрового поля в меню «Параметри/Параметри системи» значно полегшить малювання та розміщення компонентів.

Виберіть команду Інструменти/Перешкоди/Новий і намалюйте межу для розміщення компонентів і відстеження. Для дошки вибираємо прямокутний контур.

Далі розміщуємо на платі компоненти, які повинні мати кріплення. Це роз'єми. Ми робимо це за допомогою команди Інструменти/Компоненти/Інструмент виділення — розставляємо компоненти на місце один за одним і обов'язково фіксуємо їх натисканням клавіш, щоб вони не переміщалися після автоматичного розміщення.

Потім за допомогою команди Auto/Place/Board ми наказуємо програмі розмістити решту компонентів у вільній призначеній області.

Тепер ми встановлюємо ширину провідників тощо у вкладках, щоб продовжити пряме трасування плати.

За допомогою команди Options/Routing Strategies/Routing Layers вимкніть два додаткових шари в таблиці маршрутизації, оскільки плата має бути двосторонньою.

Після цього скористайтеся командою «Параметри/Колір», щоб зберегти лише чотири видимі шари: Global, Top, SSTOP, SSBOTTOM. Спочатку малюються розміри друкованої плати (іноді вони збігаються з нанесеними межами), потім шари, де відбувається трасування, і втретє напис і малюнок компонентів на платі.

Використовуйте команду Auto/Autoroute/Board, щоб запустити програму автоматичного відстеження борту. Глобальні параметри для стратегії автоматичного відстеження встановлюються в діалоговому вікні, яке відкривається за допомогою команди Параметри/Шлях/Параметри. Усі інші параметри вказуються в діалоговому вікні, яке відкривається командою Options/PathStrategy.

Після завершення обведення ми використовуємо команду «Інструменти/Текст/Інструмент виділення», щоб відредагувати позначки елементів на дошці та намалювати малюнок відповідно до вимог ДЕСТУ.

### 2.1.3 Технологія виготовлення друкованих плат

Всі процеси виробництва друкованих плат можна розділити на наступні групи:

- Віднімання;
- добавки;
- Половина премії.

Субтрактивний процес - отримання провідного візерунка передбачає вибіркоче видалення провідних ділянок фольги методами травлення.

Адитивні процеси передбачають вибіркоче осадження провідних матеріалів на підкладку друкованої плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого електропровідного покриття з подальшим його видаленням з місць, де є прогалини.

Відповідно до ГОСТ 2375-86 конструкція друкованих плат враховує такі способи виготовлення:

- Хімічний - для двосторонніх друкованих плат;
- Комбінація - Для використання на двосторонніх друкованих платах з металізованими монтажними отворами.

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються комбінованим методом, який передбачає експонування малюнка друкованих елементів з позитивної плівки.

Технологічний процес виготовлення друкованих плат за допомогою цього методу дуже розвинений, а технологічне обладнання також дуже повне [10].

Комбінований метод — це поєднання хімічних і електрохімічних методів. Вихідним матеріалом є фольгований діелектрик з обох сторін, тому електропровідний малюнок виходить шляхом травлення міді, а металізація отворів досягається безгальванічним мідненням і подальшим електрохімічним осадженням шару міді. Пайка клем ERE виконується

шляхом заповнення припоєм отворів у платі. Комбінований спосіб складається з таких основних операцій:

- Розкрій заготовок і хіміко-механічна обробка поверхні;
- Отримати консерваційні креслення;
- Нанесення захисної лакової плівки;
- Свердління та зенкування;
- Хімічне міднення та зняття лакової плівки;
- Гальваніка міднення виконується в два етапи, цей спосіб характеризується високою трудомісткістю та великою кількістю ручних операцій під час процесу.

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає хімічне знежирення в розчині тринатрійфосфату. Температура розчину 40-60°C, час обробки 2-5 хвилин.

Друковані плати виготовляються за такою технологічною схемою:

- Виготовлення фольгованих склопластикових заготовок шляхом нарізки листів дисковою фрезою діаметром  $d=100\text{мм}$ . і товщиною 3 мм. Швидкість різання 100-120 мм/с;

- Підготовка поверхні до нанесення фоторезисту. Механічно та хімічно очистити поверхню мідної фольги, очистити мідною абразивною тканиною, промити проточною водою, обробити 5-7% розчином HCl протягом 30 секунд і промити;

- Розпиліть фоторезист на поверхню фольги шляхом центрифугування та висушування. Швидкість центрифуги 80-100 об/хв, температура сушіння 35-40°C;

- Витримка друкованого зображення здійснюється в копіювальній рамі протягом 8-10 хвилин;

- Представлення захисного позитивного зображення друкованої плати здійснюється в ультразвуковій коливальній ванні з теплою водою ( $t=40-50^\circ\text{C}$ );



- Дублення для захисту малюнка — хімічне дублення в 3% розчині хромового ангідриду;
- Протравити (видалити) мідь з незахищених ділянок фольги в травильній установці КТ-38 протягом 15-18 хвилин, обробити пластину водним розчином  $\text{FeCl}_3$  і потім промити холодною водою;
- Нанести лак і просушити при  $20-30^\circ\text{C}$  6 годин;
- буріння;
- Зенкер зі свердлом діаметром 1,25 мм;
- Поверхнева активація розчином хлориду олова;
- Використовуйте 40% розчин мідного купоросу для безгальванічного міднення протягом 20 хвилин;
- Використовуйте ацетон для видалення захисної фарби;
- сухий;
- Нанесіть сплав ROSE шляхом занурення у ванну.

#### 2.1.4 Вибір матеріалу друкованої плати

У нас такі вимоги до матеріалів:

- а) Висока технологічність;
- б) Високі електрофізичні властивості;
- в) здатний працювати в умовах вакууму;
- д) Забезпечити високу адгезію;
- д) Мінімальна механічна деформація.

Найчастіше при виготовленні друкованих плат використовуються марки склотекстоліт і гетинакс:

- а) ГФ - фрустрований гетинакс;
- б) СФ - фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС - склотекстоліт травлений фольгою;
- г) СФПН - термостійкий фольгований склотекстоліт;
- д) STF – термостійке скловолокно.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається з урахуванням компонентної бази і навантаження.

Велика частина деталей пристрою розташована на друкованій платі.

Дошка піддається механічним навантаженням, тому слід вибрати скловолокно товщиною 1,5 мм. Граничне відхилення цієї товщини для склотекстолітових листів становить 0,2 мм.

Властивості матеріалів друкованих плат наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м <sup>3</sup>	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
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
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	22	22	8...9

Тому склопластиковий камінь має такі характеристики. Тому в якості матеріалу для друкованих плат вибираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-1,5 ГОСТ 10316-78, з товщиною фольги 35 мкм і товщиною матеріалу 2 мм з фольгою. Для виготовлення двосторонніх і односторонніх друкованих плат. Матеріал являє собою шаруватий пресований пластик зі склотканини, просоченої термореактивною смолою і обшитої з обох сторін мідною фольгою.

Для утеплення корпусу використовується пластик ТУ 812.362 СМЗ.

### 2.1.5 Вибір типу друкованої плати

Плати випускаються односторонні, двосторонні (з шаровими з'єднаннями і без них) і багатошарові (міжшарове послідовне з'єднання, міжшарове попарне з'єднання, з наскрізними отворами).

Характеристики односторонньої плати:

- встановити радіодеталі безпосередньо на поверхню матеріалу;
- Можливість використання додаткових перемичок (до 5%);
- низька вартість і 1-2 рівня щільності.

Двосторонні плати такі особливості:

- високі комутативні якості;
- підвищену міцність з'єднання;
- більш високу вартість.

### 2.1.6 Вибір класу точності друкованої плати

Для даного виробу, з урахуванням того, що крок координатної сітки становить 1,25 мм згідно ГОСТ 10317-82, тому трасування ускладнене, а оптимальним варіантом є обирання 3-го класу точності друкованої плати.

3-й клас точності характеризується такими елементами конструкції:

- а) ширина провідника у широких місцях \_\_\_\_\_ 0,45 мм.;
- б) ширина провідника в вузьких місцях \_\_\_\_\_ 0,25 мм.;
- в) відстань між двома друкованими провідниками \_\_\_\_\_ 0,25 мм.;
- г) гарантійний поясок для зовнішнього шару \_\_\_\_\_ 0,1 мм.;
- д) гарантійний поясок для внутрішнього шару \_\_\_\_\_ 0,05 мм.

У широких місцях ширина друкованого провідника визначається таким класом – для третього класу провідників тоді це буде другий клас.

## 2.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розрахований залежно від діаметрів отворів за такою формулою [11]

$$D_{КП} = d_{ОТВ} + \Delta d_{ОТВ} + 2 \cdot b + \Delta t_B + \Delta t_{TP} + \sqrt{T_D^2 + T_d^2 + t_{HB}^2} \quad (2.7)$$

де  $d_{отв}$  – це є діаметр отвору;

$\Delta d_{отв}$  – це є верхній допуск на діаметр отвору;

$b$  – це є ширина гарантійного пояса;

$\Delta t_B$  – це є верхній допуск на ширину провідника;

$\Delta t_{TP}$  – це є допуск на підтравлення діелектрика в отворі;

$T_D$  – це є позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

$T_d$  – це є позиційний допуск розміщення отворів;

$t_{HB}$  – це є нижній допуск на ширину провідника.

Для двосторонньої плати з третім класом значення параметрів такі:

$\Delta d_{отв}=0$  мм.;  $b=0,1$  мм.;  $\Delta t_B=0,1$  мм.;  $\Delta t_{TP}=0$ ;  $T_d=0,08$  мм.;  $T_D=0,15$  мм.;

$t_{HB}=0,1$  мм.

Загальний допуск:

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

Діаметри отворів розраховані по формулі:

$$d = d_{ВНВ} + (0,2 \dots 0,4) \quad (2.8)$$

де  $d_{ВНВ}$  – це є діаметри виводів радіоелементів.

У даному приладі радіоелементи мають такі діаметри виводів: 0,5; 0,6

мм.

Оптимальні діаметри отворів:

$$d_1=0,5+0,4=0,9 \text{ мм};$$

$$d_2=0,6+0,4=1 \text{ мм}.$$

Маємо два оптимальні діаметри отворів:

$$d_1=0,9 \text{ мм}; \quad d_2=1,1 \text{ мм}.$$

Тоді діаметри контактних площадок:

$$D_1=0,9+0,497=1,397 \text{ мм};$$

$$D_2=1+0,497=1,497 \text{ мм}.$$

У даному пункті розраховані діаметри контактних площадок, що рівні 1,397 та 1,497 мм.

### 2.3 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників здійснений для шин живлення, а також для інформаційних провідників.

Шини живлення:

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (2.9)$$

де  $j_{\text{доп}}$  – це допустима густина струму, яка для двосторонньої плати, що виготовлена комбінованим методом,  $j_{\text{доп}}=48 \text{ А/мм}^2$ ,

$t$  – це є товщина провідника,  $t=35 \text{ мкм}$ ,

$I_{\text{max}}$  – це є максимальний постійний струм, що проходить крізь провідник,  $I_{\text{max}}=0,2 \text{ А}$ .

Тоді

$$B_{\text{min}} = \frac{0,2}{48 \cdot 0,035} = 0,119 \text{ (мм)}.$$

$$B_{\text{min}} = 0,119 \text{ мм} = 119 \text{ мкм} (<250 \text{ мкм}).$$

Обраховано мінімальну ширину провідника за умови забезпечення допустимого падіння напруги:

$$b_{\text{min}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \rho \cdot l_{\text{max}}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (2.10)$$

де  $\rho$  – це є питомий опір провідників,  $\rho=0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$I_{\text{max}}$  – це є струм, який проходить по провіднику,  $I_{\text{max}}=0,2 \text{ А}$ ;

$l_{\text{max}}$  – це є максимальна довжина провідника,  $l_{\text{max}}=0,075 \text{ м}$ .

$U_{\text{доп}}$  – це є допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення,  $U_{\text{доп}}=15 \cdot 0,05=0,75 \text{ В}$ );

$t$  – це є товщина провідника.

$$b_{\text{min}} = \frac{0,2 \cdot 0,0175 \cdot 0,075}{0,75 \cdot 0,035} = 0,01 \text{ (мм)}$$

Тоді

$$B_{\text{min}} = 0,01 \text{ мм} = 10 \text{ мкм} (<250 \text{ мкм}).$$

Обраховані значення ширини друкованих провідників не перевищують значення, що обрані для третього класу точності.

#### 2.4 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості ланцюга живлення високочастотних з'єднань між компонентами стає все більш важливим. При цьому необхідно визначити не тільки параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність і т.д.), але і те, наскільки вони впливають один на одного (паразитна ємність, паразитна взаємна індуктивність і т.д.). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованих плат залежать від різноманітних факторів, які певною мірою впливають на зміну розрахункових значень: режим роботи схеми, матеріал захисного покриття, технологія виготовлення тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно, а тому недоцільно на етапі проектування друкованої плати. Тут необхідно з достатньою точністю розрахувати орієнтацію та перевірити та уточнити її після виготовлення та вивчення перших друкованих плат.

Мета здійснення розрахунку електромагнітної сумісності - це визначення працездатності пристрою за умов впливу перехресних завад у лініях зв'язку, а також визначити вплив зовнішніх електромагнітних полів.

1. Діелектрична проникність середовища між друкованими провідниками, які розташовані на зовнішній поверхні друкованої плати, що покрита лаком, дорівнює:

$$\varepsilon_r = 0,5 \cdot (\varepsilon_n + \varepsilon_l), \quad (2.11)$$

де  $\varepsilon_n$  – це є діелектрична проникність склотекстоліту,  $\varepsilon_n=6$ ;

$\varepsilon_l$  – це є діелектрична проникність лаку УР-231,  $\varepsilon_l=4$ .

$$\varepsilon_r = 0,5 \cdot (6 + 4) = 5.$$

2. Визначено взаємну ємність та індуктивність друкованих провідників, що розміщені на одній поверхні друкованої плати:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} \quad [\text{пФ}], \quad (2.12)$$

де  $\delta$  – це є найменша відстань між двома провідниками,  $\delta = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м;

$W$  – це є товщина провідного шару міді,  $W = 3 \cdot 10^{-5}$  м;

$b$  – це є ширина провідників для третього класу точності,  $b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ , м.

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 4,234 \quad (\text{пФ}).$$

Паразитна взаємоіндукція між двома друкованими друкованими провідниками  $M$ , нГн, визначена по формулі:

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1\right), \quad [\text{нГн}] \quad (2.13)$$

де  $S$  – це є відстань між провідниками,  $S = 0,05$  см;

$l_2$  – це є довжина взаємного перекриття провідників,  $l_2 = 2$  см;

$t_1, t_2$  – це є ширина провідників,  $t_1 = 0,025$  см.,  $t_2 = 0,025$  см.

Тоді

$$M = 2 \cdot 2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1\right) = 15,831 \quad (\text{нГн}).$$



Із здійснених розрахунків паразитних ємностей та паразитних індуктивностей випливає, що їх параметри перебувають у межах норми і не потребують додаткових засобів для їх зниження.

## 2.5 Розрахунок плати на вібростійкість

Обчислемо частоту власних коливань плати за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M} \cdot a \cdot b}, \quad (2.14)$$

де  $a$ ,  $b$  – це є довжина і ширина плати,  $a=50$  мм,  $b=100$  мм;

$D$  – це є циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (2.15)$$

де  $E$  – це є модуль пружності, у випадку фольгованого склотекстоліту  $E=3,2 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

$h$  – це є товщина плати,  $h=1,5$  мм;

$\nu$  – це є коефіцієнт Пуассона,  $\nu=0,22$ ;

$M$  – це є маса плати з радіoeлементами, яка визначена по формулі:

$$M = \rho \cdot a \cdot b \cdot h + M_{ел}, \quad (2.16)$$

де  $\rho$  – це є густина склотекстоліту,  $\rho=1,4$  г/см<sup>3</sup>;

$M_{ел}$  – це є сумарна маса елементів,  $M_{ел}=12,9$  г.

$$M = 1,4 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 0,15 + 12,9 = 23,4 \text{ г.}$$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot 1,5^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 9,46;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,005^2} \cdot \left(1 + \frac{0,005^2}{0,1^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{9,46}{0,0234} \cdot 0,005 \cdot 0,1} = 28310 \text{ Гц}$$

$$f = f_0 \quad (2.17)$$

$$80 \text{ Гц} \neq 28310 \text{ Гц.}$$

Таким чином, частота власних коливань плати не співпадає з її резонансною частотою, а тому співвідношення геометричних розмірів друкованої плати задовольняють вимогам вібростійкості.

Визначено коефіцієнт динамічності по формулі

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{((1 + (K_1(x) \cdot K_1(y) - 1) \cdot \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \cdot \eta_{11}^2)}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \cdot \eta_{11}^2}}, \quad (2.18)$$

де  $K(x)$ ,  $K(y)$  – це є залежність коефіцієнта від коливань. За умови коли обидва краї плати закріпленні  $K(x)=K(y)=1,3$ ;

$\eta$  – це є коефіцієнт розстроювання:

$$\eta = \frac{f}{f_0} = \frac{80}{28310} = 0,003; \quad (2.19)$$

$\varepsilon$  - це є показник затухання:

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{3,14} = 0,013; \quad (2.20)$$

$\lambda$  – це є декремент затухання,  $\lambda=(2\dots 10)\cdot 10^{-2}$ .

Тоді

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{((1 + (1,3 \cdot 1,3 - 1) \cdot 0,003^2)^2 + 0,013^2 \cdot 0,003^2)}}{\sqrt{(1 - 0,003^2)^2 + 0,013^2 \cdot 0,003^2}} = 4,186 \cdot 10^{-5}.$$

Вібросміщення обчислена по формулі:

$$S_B = \xi_0 \cdot K_{\text{дин}}, \quad (2.21)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot (f_0)^2}, \quad (2.22)$$

де  $a_0$  – це є віброприскорення, яке за технічним завданням має чисельне значення  $a_0 = 2 \cdot g = 19,6 \text{ м/с}^2$ .

$$\xi_0 = \frac{19,6}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 28310^2} = 6,201 \cdot 10^{-10} \text{ (мм)};$$

$$S_B = 6,201 \cdot 10^{-10} \cdot 4,186 \cdot 10^{-5} = 2,596 \cdot 10^{-14} \text{ (мм)}.$$

Тоді віброприскорення:

$$a_B = a_0 \cdot K_{\text{дин}} = 19,6 \cdot 4,186 \cdot 10^{-5} = 8,205 \cdot 10^{-4} \text{ (м/с}^2\text{)}. \quad (2.23)$$

Визначено прогин друкованої плати:

$$\delta_{\text{доп}} = S_B - \xi_0 = 2,596 \cdot 10^{-14} - 6,201 \cdot 10^{-10} = 6,201 \cdot 10^{-10} \text{ (мм)}, \quad (2.24)$$

$$\delta_{ГРАН} = \delta_{ДОП} \cdot l^2 = 1,82 \cdot 10^{-8} \cdot 0,60^2 = 6,552 \cdot 10^{-9} \text{ (мм)}. \quad (2.25)$$

За результатами розрахунку можна сказати, що вібраційне навантаження не вплине на роботу обладнання, тому що прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення.

## 2.6 Розрахунок на дію удару

Цей розрахунок робиться для перевірки міцності (в упакованому вигляді) при транспортуванні.

Пристрій має бути здатним витримувати ударні імпульси з піковим прискоренням до 5g. Як і у випадку з розрахунком впливу вібрації, вплив удару також розраховується для друкованої плати. Враховуючи, що максимальний ефект створює прямокутний імпульс, необхідно перевірити умови ударостійкості цього імпульсу.

Умовна частота ударного імпульсу визначається за формулою:

$$\omega = \frac{\pi}{\tau} \quad (2.26)$$

де  $\omega$  – це є тривалість ударного імпульсу  $\tau$ , мс.

$$\omega = 625c^{-1}$$

Коефіцієнт передачі при ударі:

$$K_y = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right), \quad (2.27)$$

де  $V$  – це є коефіцієнт розстроювання:

$$V = \frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{625}{2 \cdot 3,14 \cdot 80} = 1,24; \quad (2.28)$$

$$K_y = 2 \sin\left(\frac{3,14}{2 \cdot 1,24}\right) = 1,908.$$

Ударне прискорення розраховується:

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (2.29)$$

де  $H_y$  – це є амплітуда прискорення ударного імпульсу,  $H_y=49$  мс.

$$a_y = 0,049 \cdot 1,908 = 0,093.$$

Максимальне відносне переміщення:

$$Z_{\max} = \frac{H_y}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right)} = \frac{0,049}{2 \cdot 3,14 \cdot 28310 \cdot \sin\left(\frac{3,14}{2 \cdot 1,24}\right)} = 2,889 \cdot 10^{-7} \quad (2.30)$$

Для друкованої плати має виконуватись умова:

$$Z_{\max} \triangleleft 0,003b; \quad (2.31)$$

$$Z_{\max} = 2,889 \cdot 10^{-7} \triangleleft 7,5 \cdot 10^{-5}$$

З отриманих даних можна зробити висновок, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краю плати) та її товщина забезпечують найменшу власну частоту коливань, максимальне

вібропереміщення під дією вібрації та максимальну вібрація під дією удару  
Мінімальне прискорення удару.

## 2.7 Розрахунок надійності за раптовими відмовами

Надійність є одним з основних параметрів виробу. Після розрахунку можна зробити висновок про надійність обраного рішення та конструкції виробу. Надійність пристрою залежить від надійності і кількості використовуваних компонентів, кількості з'єднань між компонентами, способу кріплення компонентів і типу їх з'єднання, а також від впливу зовнішніх, теплових і навколишніх факторів. Електричні навантаження на компоненти обладнання.

Надійність обчислювальної техніки полягає у визначенні показника надійності виробу на основі відомих характеристик надійності та умов експлуатації складових елементів. Вихідним показником для розрахунків надійності є інтенсивність відмов радіодеталей за нормальних умов.

За допомогою математичних моделей [12] використаємо методику розрахунку експлуатаційної надійності [12].

У загальному випадку математична модель матиме вигляд

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (2.32)$$

де  $\lambda_e$  – це є експлуатаційна інтенсивність відмов,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\lambda_0$  – це є інтенсивність відмов за нормальних умов та номінального електричного навантаження,  $\text{с}^{-1}$ ;

$K_i$  – це є складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронної апаратури її сумарна інтенсивність відмов

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{OBSL} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei} \quad (2.33)$$

де  $K_{AM}$  – це є коефіцієнт, що залежить від амортизації електронної апаратури; за умови відсутності системи амортизації для виробу (зокрема, як у нашому випадку), тоді  $K_{AM}=1$ ;

$K_{OBSL}$  – це є коефіцієнт, що залежить від якості технічного обслуговування електронної апаратури; для випадку побутових виробів  $K_{OBSL}=1$ ;

$\lambda_{ei}$  – це є експлуатаційна інтенсивність для  $i$ -го типу електронної апаратури;

$n$  – це є кількість типів електронних елементів у нашому пристрої,  $n=5$ .

Оскільки пристрій переносний, тому його коефіцієнт умов експлуатації  $K_e=1,5$ . Математичні моделі для кожного з елементів конструкції та обчислимо значення інтенсивностей їх відмов [13].

Для конденсаторів

$$\lambda_{EC} = \lambda_{OCF} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (2.34)$$

де  $K_P$  – це є коефіцієнт навантаження,  $K_P=0,7$ ;

$K_C$  – це є коефіцієнт, який залежить від ємності конденсатора, тому  $K_C=0,8$  (в середньому).

Оскільки максимальна напруга падає на конденсаторі тому, коли ця напруга дорівнює напрузі живлення, тоді відношення:

$$\frac{U}{U_n} = \frac{2,5}{5} = 0,5 \quad (2.35)$$

$$\lambda_{EC} = 0,07 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 0,059 \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Для резисторів

$$\lambda_{ER} = \lambda_{0CF} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R \quad (2.36)$$

де  $K_P$  – це є коефіцієнт навантаження,  $K_P=0,7$ ;

$K_R$  – це є коефіцієнт, який залежить від опору резистора,  $K_R=0,7$ ;

Тоді

$$\lambda_{ER} = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,5 = 0,022 \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Для діодів

$$\lambda_{EVD1} = \lambda_{0CF} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_\Phi \cdot K_{S1} \quad (2.37)$$

де  $K_P$  – це є коефіцієнт навантаження, тому  $K_P=0,8$ ;

$K_\Phi$  – це є коефіцієнт, який залежить від функціонального режиму роботи, тому  $K_\Phi=1$ ;

$K_{S1}$  – це є коефіцієнт, який залежить від навантаження за напругою, тому  $K_{S1}=1$ .

Отримаємо

$$\lambda_{EVD1} = 0,35 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Для світлодіодів

$$\lambda_{EVD2} = \lambda_{0CF} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_\Phi \cdot K_{S1} \quad (2.38)$$

де  $K_P$  – це є коефіцієнт навантаження,  $K_P=0,713$ ;

$K_\Phi$  – це є коефіцієнт, який залежить від функціонального режиму роботи, тому  $K_\Phi=1$ ;

$K_{S1}$  – це є коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, тому  $K_{S1}=1$ .



Отримаємо

$$\lambda_{EVD2} = 0,35 \cdot 10^{-6} \cdot 0,713 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 0,3743 \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Для мікросхем:

$$\lambda_{EOP} = \lambda_H \cdot K_e, \quad (2.39)$$

Отже

$$\lambda_{EOP} = 0,23 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 = 0,345 \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Назва елемента	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0590	8	0,472
Резистори	0,0220	19	0,418
Діоди	0,4200	4	1,68
Світлодіоди	0,3743	3	1,1229
Мікросхеми	0,3450	4	1,38
Пайка	0,0500	55	2,75
Плата	0,1000	1	0,10
			7,9229

Сумарна інтенсивність відмов

$$\sum \lambda_{\Sigma} = 7,9229 \cdot 10^{-6}$$

Надійність пристрою характеризують напрацюванням на відмову, яка обчислюється по формулі

$$T = \frac{1}{\lambda_2} \text{ (год)}. \quad (2.40)$$

Тоді

$$T_1 = \frac{1}{7,9229 \cdot 10^{-6}} = 1,262 \cdot 10^5.$$

Середній час напрацювання на відмову пристрою складе:  $T=126200$  год.

Імовірність безвідмовної роботи пристрою протягом  $t_1 = 1000$  год. буде

$$P(t_i) = \exp(-\lambda \cdot t_1), \quad (2.41)$$

$$P(t_i) = e^{-7,9229 \cdot 0,000001 \cdot 1000} = 0,992.$$

Як бачимо, надійність даного пристрою є високою, що й підтверджує його оптимальність.

### 3 АНАЛІЗ КОМПЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

#### 3.1 Розрахунок габаритних розмірів пристрою

##### 3.1.1 Аналіз елементної бази

Установочні площі радіоелементів вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика елементної бази

Назва елемента	Кіл., шт..	Площа встановлення, мм <sup>2</sup>	Висота, мм	Робоча потужність, Вт	Потужність розсіювання, Вт
<b>Конденсатор</b>					
C2, C5, C8, C11 K10-17a	4	5,6x3=16,8	4	0,0056	0,0008
C3, C6, C9, C12 K10-17a	4	5,6x3=16,8	5,6	0,0043	0,0007
<b>Діоди</b>					
VD1-VD7-1N4148A	4	4,25x1,85=7,86	1,85	0,15	0,09
<b>Резистори</b>					
R1, R6, R11 C2-23-0,125	3	3,2x1,5=4,8	1,5	0,057	0,012
R2-R4, R7 C2-23-0,125	4	3,2x1,5=4,8	1,5	0,042	0,02
R5, R10 C2-23-0,125	2	3,2x1,5=4,8	1,5	0,068	0,017
R8, R9, R12 C2-23-0,125	3	3,2x1,5=4,8	1,5	0,057	0,012
R13, R14 C2-23-0,125	2	3,2x1,5=4,8	1,5	0,057	0,012

Продовження табл. 3.1 - Характеристика елементної бази

R15 C2-23-0,125	1	3,2x1,5=4,8	1,5	0,068	0,017
R16 C2-23-0,125	1	3,2x1,5=4,8	1,5	0,057	0,012
R17-R19 C2-23-0,125	2	3,2x1,5=4,8	1,5	0,038	0,02
Мікросхема					
DA1- LF412/МС КТ361Б	4	10x6=60	5	0,67	0,33

### 3.1.2 Визначення розмірів корпусу

Визначено габаритні розміри плати по формулі

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст.}} \times q \quad (q = 2 \dots 4), \quad (3.1)$$

де  $\sum S_{\text{уст.}}$  – це є сума установочних площ усіх радіоелементів, які знаходяться на платі;

$q$  – це є коефіцієнт запасу.

Знаходимо  $\sum S_{\text{уст.}}$ , додавши дані з таблиці 3.1

$$\sum S_{\text{уст.}} = 727,74 \text{ мм}^2,$$

маємо орієнтовну площу плати

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 728 \times (2 \dots 4) = (1456 \dots 2912) \text{ мм}^2.$$

Найближчі стандартні розміри плати становлять 60×60 мм, при цьому площа плати буде

$$S_{\text{плати}} = 2500 \text{ мм}^2 = 50 \text{ см}^2.$$

Але оскільки проектування даного пристрою відбувалося раніше і були отримані оптимальні розміри друкованої плати для даної розробки, тому ми виберемо саме їх, а саме 100x50 мм.

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів, а також врахування товщини самої плати (1 мм) та методу паяння виводів елементів [14]. Оскільки застосовано односторонній монтаж, то довжина виводів радіоелементів, що припаяні, становить 1,5-2 мм, вони встановлені над платою на висоті 1 мм. Найвищим же елементом на друкованій платі ємнісний датчик, тому

$$h_{\text{плати з элем.}} = 34,5 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу визначено таким чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займає плата з радіоелементами (плюс певний запас).

Внутрішні розміри:

а) висота  $h_{\text{вн}} = 4 + 1,5 + 34,5 = 40 \text{ мм};$

б) довжина  $a_{\text{вн}} = 50 + 3 = 53 \text{ мм};$

в) ширина  $b_{\text{вн}} = 100 + 3 + 3 = 106 \text{ мм};$

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота  $h_{\text{зовн}} = 40 + 2 + 2 + 2 = 46 \text{ мм};$

б) довжина  $a_{\text{зовн}} = 53 + 2 + 2 = 57 \text{ мм};$

в) ширина  $b_{\text{зовн}} = 106 + 2 + 2 = 110 \text{ мм.}$

Внутрішній об'єм корпусу становитиме:

$$V_{\text{вн корп}} = 4,6 \cdot 5,7 \cdot 11 = 288,4 = 180,5 \text{ см}^3.$$

### 3.2 Розрахунок теплового режиму пристрою

Початкові дані досліджуваного пристрою:

- довжина  $L_1 = 53$  мм;
- ширина  $L_2 = 106$  мм;
- висота  $L_3 = 40$  мм;
- товщина стінок кожуха  $\Delta = 1$  мм;
- ступінь чорноти внутрішньої і зовнішньої поверхонь  $\varepsilon = 0,92$ ;
- споживана від мережі потужність  $P = 0,87$  Вт.

Розрахунок здійснюватимемо в наступному порядку.

Задаємо температуру перегрівання кожуха  $\Delta t_{K1} = 1$  °С. Тоді температура кожуха становитиме

$$t_{K1} = t_C + \Delta t_{K1} = 20 + 1 = 21 \text{ °С.} \quad (3.2)$$

Знаходимо середню температуру

$$t_m = 0,5(t_C + t_{K1}) = 0,5(20 + 21) = 20,5 \text{ °С.} \quad (3.3)$$

Визначено коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_K$  для усіх поверхонь кожуха пристрою, при цьому за визначальний розмір обираю висоту пристрою  $L_3 = 40$  мм (це тому, що плата в нас орієнтована у горизонтальній площині)

$$\alpha_K = 5,62 \cdot A(t_m) \cdot B, \quad (3.4)$$

де  $A(t_m)$  - це є параметр, який враховує фізичні властивості навколишнього середовища і визначений з графіку,  $A(20,5^\circ) = 1,39 \cdot 10^{-4}$  [15];  $B$  – визначений по формулі (3.4)

$$B = [(t_k - t_c) / L_3]^{\frac{1}{4}}, \quad (3.5)$$

$$B = [(21^\circ - 20^\circ) / 23]^{\frac{1}{4}} = 0,457 \text{ (град/мм)}$$

і у такому виді підставляється у формулу визначення коефіцієнта тепловіддачі (3.4).

$$\alpha_k = 5,62 \cdot 1,39 \cdot 10^{-4} \cdot 0,457 = 3,57 \cdot 10^{-4} \text{ (Вт/см}^2 \cdot \text{град)}$$

Тоді, коефіцієнти тепловіддачі для поверхонь кожуха (верхньої, нижньої і бокової):

$$\alpha_{KB} = 1,3\alpha_k = 1,3 \cdot 3,57 = 4,64 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \quad (3.6)$$

$$\alpha_{KH} = 0,7\alpha_k = 0,7 \cdot 3,57 = 2,49 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}; \quad (3.7)$$

$$\alpha_{KB} = \alpha_k = 3,57 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (3.8)$$

Знаходимо значення коефіцієнта випромінення кожуха  $\alpha_L$ :

$$\alpha_L = \frac{5,673 \cdot \left[ \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right]}{t_k - t_c}, \quad (3.9)$$

$$\alpha_L = \frac{5,673 \cdot \left[ \left( \frac{294}{100} \right)^4 - \left( \frac{293}{100} \right)^4 \right]}{21 - 20} = 5,73 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}.$$

$$\alpha_L = 5,73 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Конвективна складова теплової провідності

$$\sigma_K = \alpha_{KB} \cdot S_B + \alpha_{KH} \cdot S_H + \alpha_{KB} \cdot S_B, \quad (3.10)$$

де площі поверхонь кожуха (верхньої, нижньої і бокової)

$$S_B = 60 \cdot 110 \cdot 10^{-6} = 0,0066 \text{ м}^2;$$

$$S_H = 60 \cdot 110 \cdot 10^{-6} = 0,0066 \text{ м}^2;$$

$$S_B = 2 \cdot 60 \cdot 23 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 110 \cdot 23 \cdot 10^{-6} = 0,00782 \text{ м}^2.$$

Маємо

$$\sigma_K = 4,64 \cdot 0,0066 + 2,49 \cdot 0,0066 + 3,57 \cdot 0,00782 = 0,075 \text{ (Вт/град)}.$$

Промениста складова теплової провідності

$$\sigma_L = \alpha_L \cdot \varepsilon \cdot (S_B + S_H + S_B) \quad (3.11)$$

$$\sigma_L = 5,73 \cdot 0,92 \cdot (0,0066 + 0,0066 + 0,00782) = 0,067 \text{ (Вт/град)}.$$

Сумарна теплова провідність

$$\sigma_{КОЖ} = \sigma_K + \sigma_L \quad (3.12)$$

$$\sigma_{КОЖ} = 0,044 + 0,067 = 0,1108 \text{ (Вт/град)}.$$

Визначено теплову провідність від умовно нагрітої зони поверхні до кожуха (розміри лінійні в міліметрах) [16]



$$\sigma_3 = 22 \cdot (L_1 - 2\Delta) \cdot (L_2 - 2\Delta) \cdot 10^{-3} \quad (3.13)$$

$$\sigma_3 = 22 \cdot (110 - 2) \cdot (60 - 2) \cdot 10^{-3} = 137,8 \text{ Вт/град.}$$

Температура нагрітої зони

$$t_3 = t_C + \Delta t_{K1} \left(1 + \frac{\sigma_{КОЖ}}{\sigma_3}\right) = 20 + 1 \cdot \left(1 + \frac{0,1108}{137,8}\right) = 21,0008 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3.14)$$

Розсіювана у блоці при перегріванні  $\Delta t_{K1}$  потужність

$$P_1 = \sigma_{КОЖ}(t_{K1} - t_C) = 0,1108(21 - 20) = 0,1108 \text{ Вт.} \quad (3.15)$$

Отже, при  $P_1 = 0,1108 \text{ Вт}$  маємо значення  $t_3 = 21,0008 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{K1} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тепер задаємо перегрівання кожуха  $\Delta t_{K2} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тоді температура кожуха становитиме

$$t_{K2} = t_C + \Delta t_{K2} = 20 + 5 = 25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Знаходимо середню температуру

$$t_m = 0,5(t_C + t_{K1}) = 0,5(20 + 25) = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Визначено коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_K$  для всіх поверхонь кожуха:

$$\alpha_K = 5,62 \cdot A(t_m) \cdot B \quad (3.16)$$

де  $A(t_m)$  - це є параметр, який враховує фізичні властивості навколишнього середовища і визначений за графіком,  $A(22,5^\circ) = 1,37 \cdot 10^{-4}$  [17].  $B$  – визначається по формулі (3.4)

$$B = [(25^\circ - 22^\circ) / 23]^{\frac{1}{4}} = 0,683 \text{ (град/мм)}.$$

Тоді коефіцієнта тепловіддачі

$$\alpha_{\kappa} = 5,62 \cdot 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot 0,683 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ (Вт/см}^2 \cdot \text{град)} = 5,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

Коефіцієнти тепловіддачі для поверхонь кожуха (верхньої, нижньої і бокової)

$$\alpha_{\text{КВ}} = 1,3\alpha_{\text{К}} = 6,63 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$\alpha_{\text{КН}} = 0,7\alpha_{\text{К}} = 3,57 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$\alpha_{\text{КБ}} = \alpha_{\text{К}} = 5,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Знаходимо значення коефіцієнта випромінення кожуха  $\alpha_{\text{Л}}$  за формулою (3.9)

$$\alpha_{\text{Л}} = \frac{5,673 \cdot \left[ \left( \frac{298}{100} \right)^4 - \left( \frac{293}{100} \right)^4 \right]}{25 - 20} = 5,86 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Конвективна складова теплової провідності [18]

$$\sigma_{\text{К}} = 6,63 \cdot 0,0066 + 3,57 \cdot 0,0066 + 5,1 \cdot 0,00782 = 0,107 \text{ (Вт/град)}.$$

Промениста складова теплової провідності:

$$\sigma_{\text{Л}} = 5,86 \cdot 0,92 \cdot (0,0066 + 0,0066 + 0,00782) = 0,113 \text{ (Вт/град)}.$$

Сумарна теплова провідність

$$\sigma_{\text{КОЖ}} = \sigma_{\text{К}} + \sigma_{\text{Л}} = 0,107 + 0,113 = 0,22 \text{ Вт/град.}$$

Температура нагрітої зони

$$t_3 = t_{\text{C}} + \Delta t_{\text{К2}} \left(1 + \frac{\sigma_{\text{КОЖ}}}{\sigma_3}\right) = 20 + 5 \cdot \left(1 + \frac{0,22}{137,8}\right) = 25,0016 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Розсіювана потужність у блоці при перегріванні  $\Delta t_{\text{К2}}$

$$P_2 = \sigma_{\text{КОЖ}}(t_{\text{К2}} - t_{\text{C}}) = 0,22 (25 - 20) = 1,1 \text{ Вт.}$$

Отже, при  $P_2 = 1,1 \text{ Вт}$  маємо значення  $t_3 = 25,0016 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{К2}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Будуємо графік залежності температур кожуха та нагрітої зони від розсіюваної потужності:

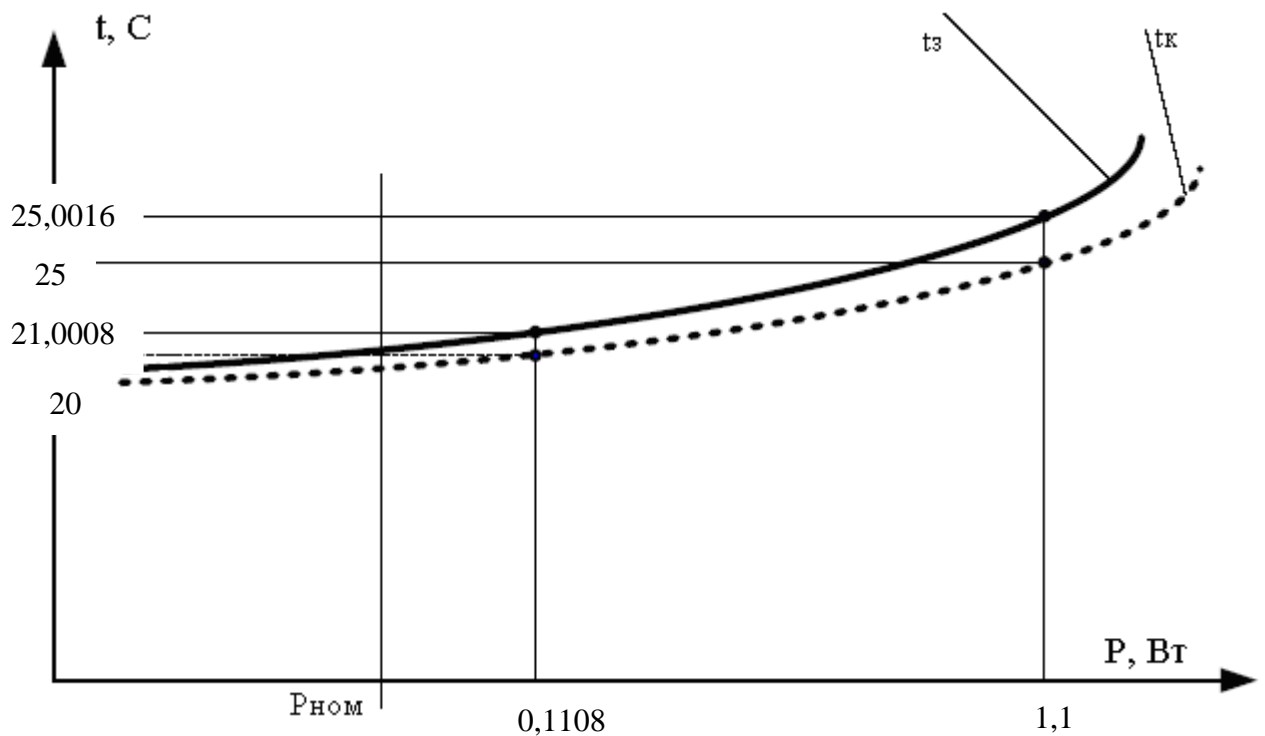


Рисунок 3.1 – Графік залежності температур кожуха  $t_{\text{К}}$  та нагрітої зони  $t_3$  від розсіюваної потужності  $P$

За графіком рис. 3.1 для споживаної від мережі потужності  $P = 0,87$  Вт значення температур нагрітої зони та кожуха становлять:

$$t_3 \approx 25 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{K2} \approx 24,8^\circ\text{C}.$$

Отже, ми бачимо, що значення розсіюваної потужності становить  $P_1 = 0,1108$  Вт при перегріванні кожуха на  $\Delta t_{K1} = 1$  °С, при якій маємо значення температури нагрітої зони  $t_3 = 20,0008$  °С і температури кожуха  $t_{K1} = 21$  °С. А при перегріванні кожуха на  $\Delta t_{K2} = 5$  °С значення розсіюваної потужності становить  $P_2 = 1,1$  Вт, при якій значення температури нагрітої зони  $t_3 = 25,0016$  °С і температури кожуха  $t_{K2} = 25$  °С.

### 3.3 Комп'ютерне моделювання пристрою для контролю октанового числа бензину в програмі OrCAD PSpice

Для перевірки адекватності роботи запропонованого пристрою для контролю октанового числа бензину проведемо компютерне моделювання в програмі OrCAD PSpice.

Для цього в Capture намалюємо схему, що показана на рис. 3.2 (та наведена в додатку А рис.1).

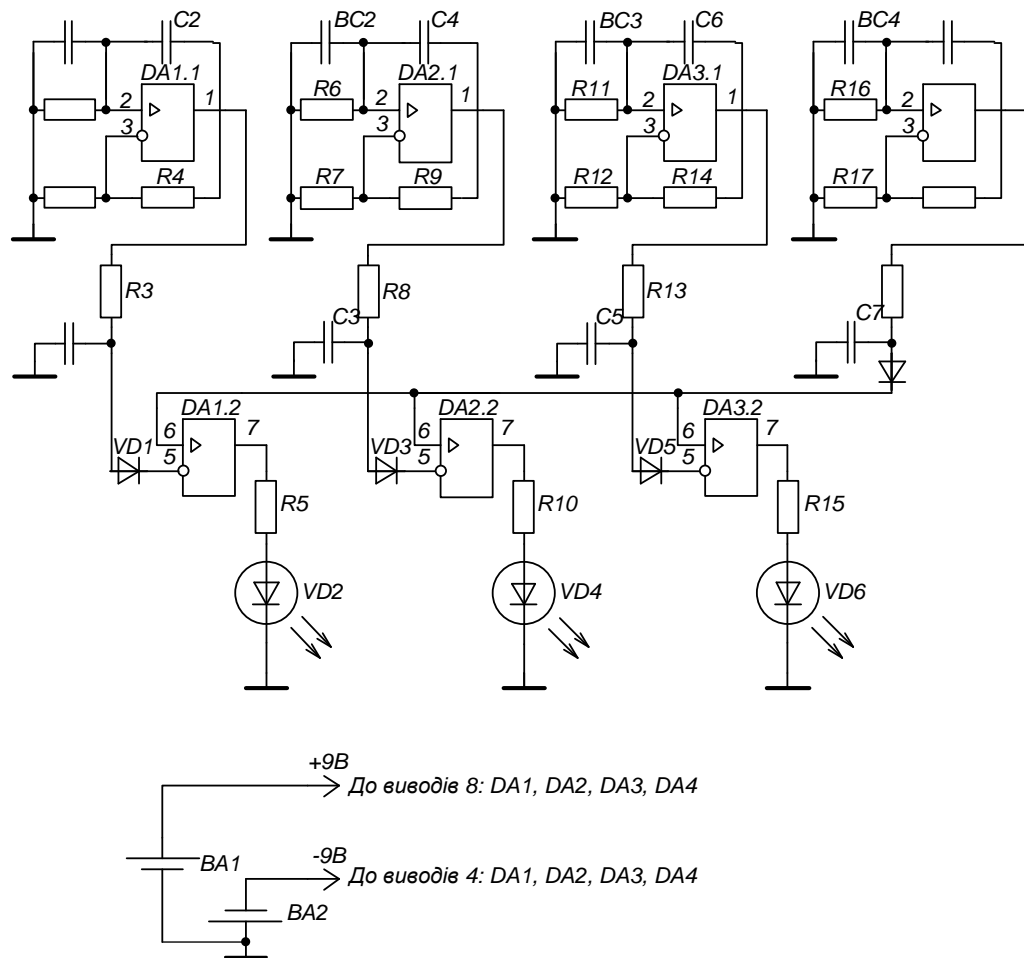


Рисунок 3.2 - Схема пристрою для контролю октанового числа бензину

Створюємо новий профіль моделювання. Для аналізу схеми обираємо Transient тип.

Для початку дослідимо роботу першого каналу негасенсора на основі емнісного ефекту приладу з від'ємним диференційним опором з 92 маркою бензину. Вихідний сигнал знімаємо з виходу операційного підсилювача DA1.

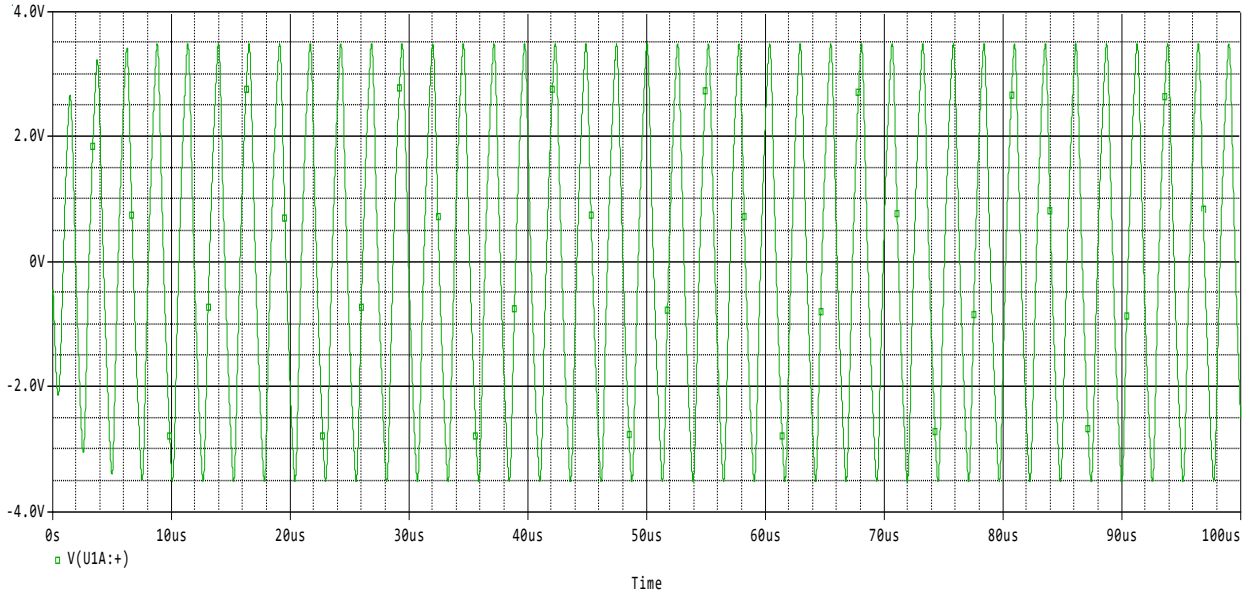


Рисунок 3.3 - Вихідний сигнал першого каналу

Частота сигналу пристрою для контролю октанового числа бензину першого каналу буде становити

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,6} = 384,615 \text{ (КГц)} \quad (3.17)$$

Знімемо вихідний сигнал у вигляді часової діаграми другого каналу з 95 маркою бензину.

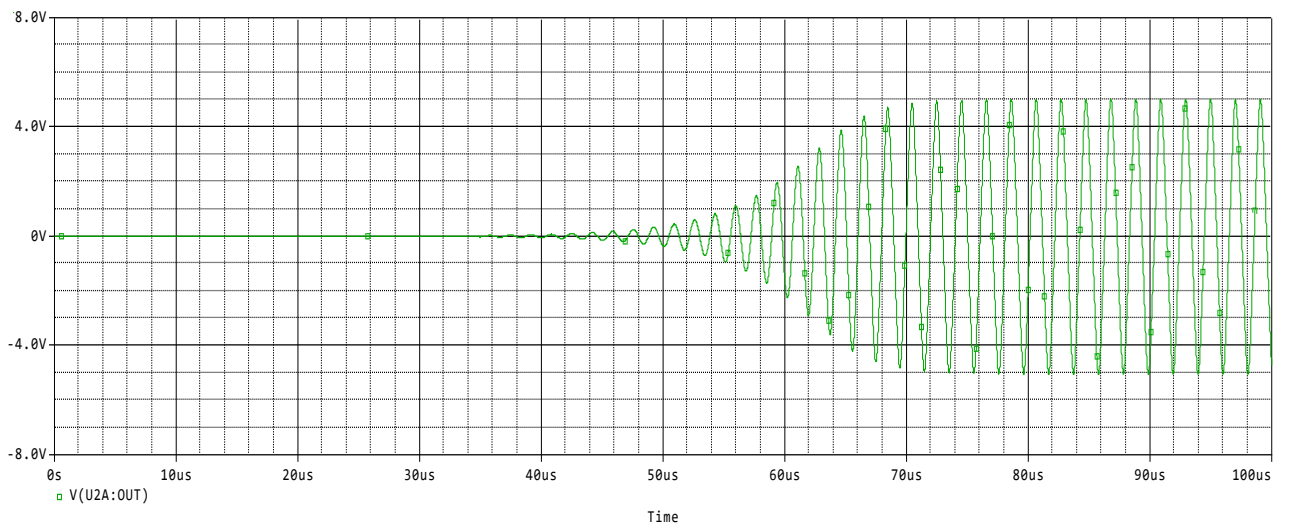


Рисунок 3.4 - Вихідний сигнал другого каналу

Частота сигналу пристрою для контролю октанового числа бензину другого каналу буде становити

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,97} = 507,614 \text{ (КГц)} \quad (3.18)$$

Дослідимо роботу третього каналу негасенсора на основі ємнісного ефекту приладу з від'ємним диференційним опором з 98 маркою бензину. Знімемо вихідний сигнал у вигляді часової діаграми.

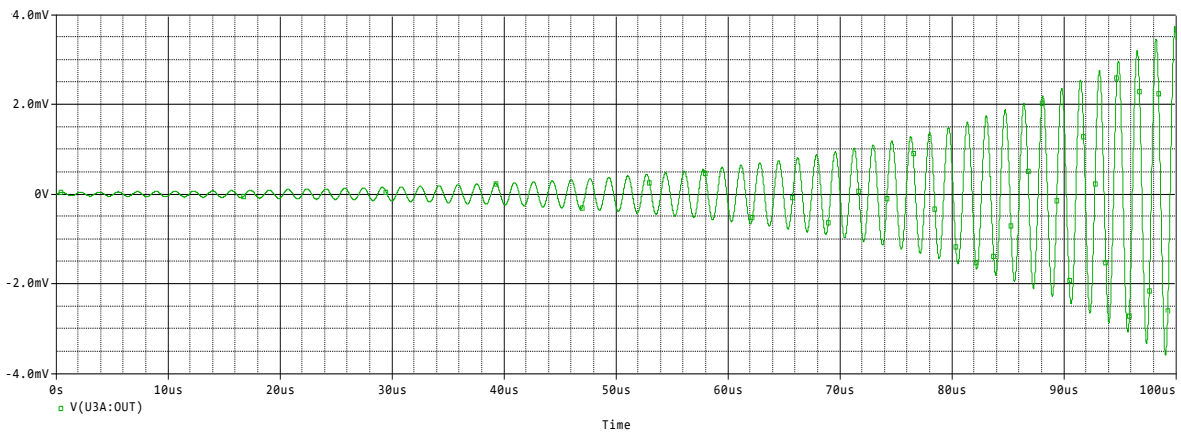


Рисунок 3.5 - Вихідний сигнал третього каналу

Частота сигналу пристрою для контролю октанового числа бензину третього каналу буде становити

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,7} = 588,235 \text{ (КГц)} \quad (3.19)$$

Знімемо часову діаграму сигналу з виходу четвертого каналу вимірювального перетворювача, в якому знаходиться невідома марка бензину.

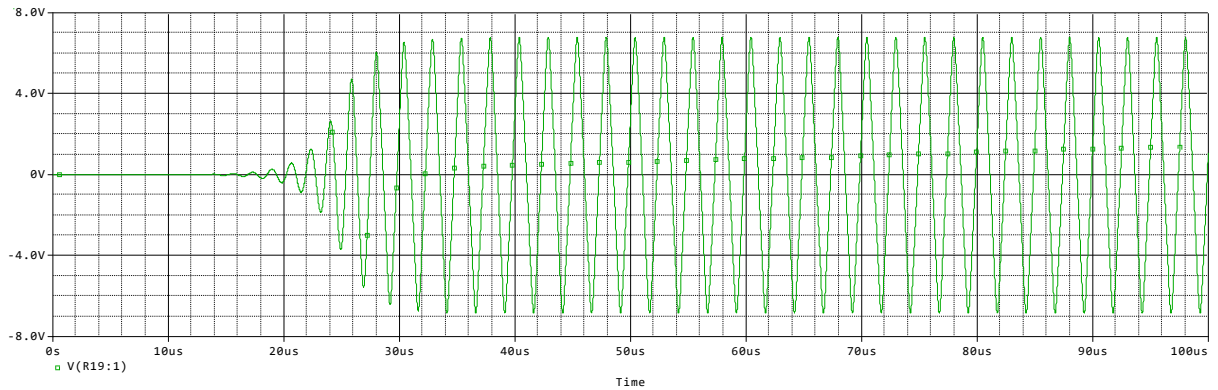


Рисунок 3.6 - Вихідний сигнал четвертого каналу

Частота сигналу пристрою для контролю октанового числа бензину четвертого каналу буде становити:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,54} = 393,7 \text{ (КГц)} \quad (3.20)$$

З аналізу досліджених синусоїд ми бачимо, що частота сигналу четвертого каналу найбільш близька до першого каналу, отже, можна зробити висновок, що невідома бензин є першого типу 92 марки.

Наступна частина схеми має перевести частоту сигналу в амплітуду. Це виконано на фільтрах низьких частот, на елементах R4, C3, VD1 першого каналу, R9, C6, VD3 другого каналу, R14, C9, VD5 третього каналу, R19, C12, VD7 четвертого каналу відповідно.

Знімаємо сигнали з виходу усіх перетворювачів.

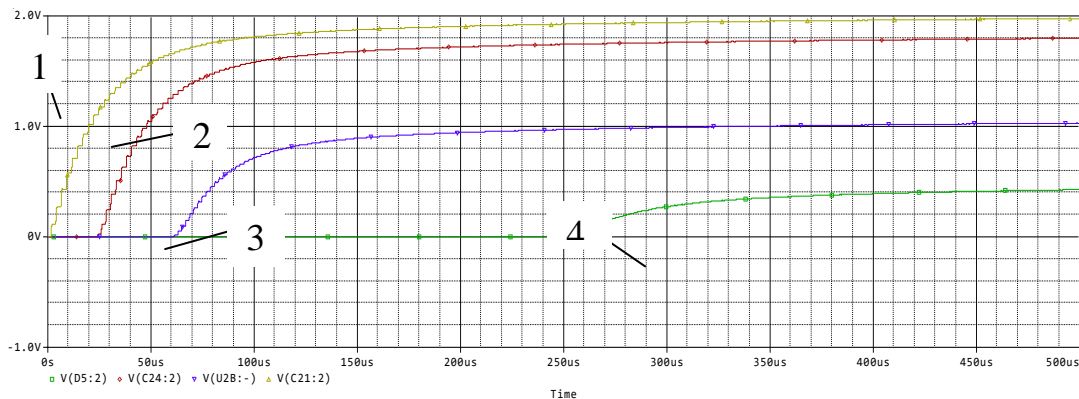


Рисунок 3.7 - Вихідні сигнали усіх каналів: 1- сигнал першого каналу; 2 - сигнал четвертого каналу; 3 – сигнал другого каналу; 4 – сигнал третього каналу



З рис. 3.7 (та наведена в додатку А рис.6) ми бачимо, що сигнал з четвертого каналу невідомої марки бензину найбільш близький до сигналу першого каналу 92 марки бензину.

Наступна частина схеми має засвітити відповідний світлодіод. Для цього на компараторах порівнюються дані напруги. В наслідок порівняння засвідчується світло діод першого каналу 92 марки бензину.

На вихідному вимірювальному перетворювачі є різна частота сигналу, яка становить 384,615 КГц; 507,614 КГц; 588,235 КГц; 393,7 КГц відповідно для чотирьох каналів. Ця частота визначається типом палива в первинному вимірювальному ємнісному перетворювачі. Частота четвертого каналу буде близька до однієї з трьох відомих каналів різних марок бензину. Тому схема, обробляючи ці сигнали, подасть напругу на необхідний світло діод, як показали результати моделювання.

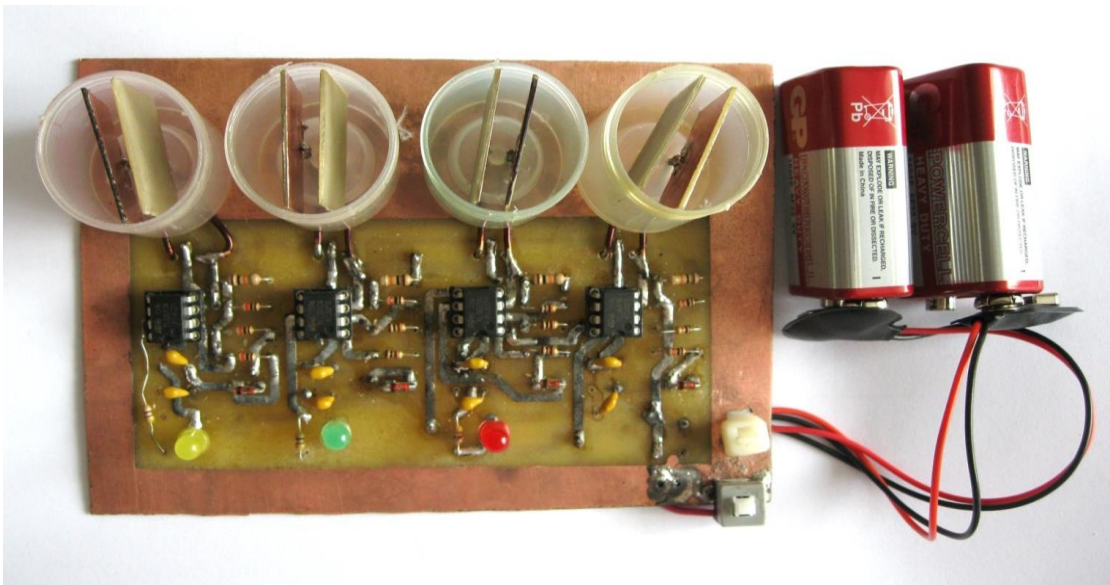


Рисунок 3.8 – Розробка експериментального макету

Проведене моделювання в програмі OrCAD PSpice підтвердило правильну роботу схеми пристрою для контролю октанового числа бензину.

### 3.4 Моделювання плати пристрою для контролю октанового числа бензину за допомогою програми Thermal Desktop

#### 3.4.1 Опис програми Thermal Desktop

В даній роботі проводимо моделювання схеми пристрою визначення октанового числа бензину. Для цього ми використовуємо програму Thermal Desktop.

Програма Thermal Desktop 4.8 — це пакет програмного забезпечення, що складається з набору кількох програм, які можна використовувати як комплексні програми, так і окремо [19].

SINDA/FLUINT широко використовувався протягом останніх двох десятиліть для теплового моделювання електронного обладнання в аерокосмічній промисловості. Програма FLUINT розширює функціональні можливості цього продукту, додаючи різноманітні можливості моделювання термічного процесу.

FloCAD розширює можливості SINDA/FLUINT, додаючи методи 3D CAD для моделювання повітряного охолодження та теплової поведінки електронних схем, друкованих плат ПК, генерованого тепла та електронних опор. Програма FLOCAD сприяє більш точному конструюванню і монтажу різних типів друкованих плат і компонентів цих плат.

Цей набір програм надає унікальну можливість виконувати термогідродинамічне моделювання, показуючи поширення тепла в твердих тілах і рідинах.

У багатьох випадках ці процедури можуть призвести до значної економії часу та коштів на аналіз процесу порівняно з аналізом CFD. Зручний інтерфейс надає користувачеві можливість моделювати потрібний модуль на високій швидкості та вибирати параметри компонента, а також оптимізувати модуль на основі різних параметрів та інших шаблонів, пов'язаних з надійністю компонента, що розробляється. Користувачі також можуть моделювати труби, насоси, канали, клапани, фільтри та інші комбінації цих

елементів. Користувачі також можуть вибирати різні рідини для моделювання з бази даних, вбудованої в програму, або самостійно створювати потрібну рідину, вказуючи її властивості.

Основні особливості Hot Desktop 4.8:

- Недорога модель і високоякісна програма моделювання порівняно з програмами моделювання повітряного охолодження для електронного обладнання типу CFD;
- Повний набір параметрів для полегшення модифікації моделі, що розробляється;
- Дозволяє моделювати як в 1D, так і в 2D і 3D режимах;
- дозволяє легко змінювати вхідні дані, для оптимізації пристрою, який розробляється, а також зручно контролювати його.

3.4.2 Параметри плати, які використовуються при моделюванні з допомогою програми Thermal Desktop

Запишемо в розгорнуту таблицю геометричні розміри елементів шахової дошки, розміри шахової дошки в цілому і розміри тіла, розраховані в попередньому пункті, використовуючи розміри, які мають елементи при зведенні до простих форм ( куб, циліндр, паралельний шестигранник тощо).

Таблиця 3.1 – Елементи пристрою

Назва елемента	Довжина (висота)	Ширина (радіус)	Висота підняття над платою (товщина)
Конденсатор	5,6	3	4
Резистор	3,2	0,75	1
Мікросхема	10	6	5
Діод	4,25	0,925	1
Плата	100	50	1
Корпус (1 стінка)	102	52	1

Виготовляємо дошку розміром 100x50 мм. Плата виготовлена з 2 унцій мідного матеріалу. Корпус, на якому розміщена друкована плата, виготовлений з алюмінію. В даному випадку резистори вуглецеві, транзистори, діоди, мікросхеми кремнієві, а конденсатори поліпропіленові. Для них ми підбираємо з каталогу необхідні для теплового моделювання значення електропровідності, радіаційного тепла і щільності. Ці дані наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення електропровідності, радіаційного тепла та щільності компонентів схеми

Елементи	Провідність, k, W/m/K	Теплота випромінювання, ср, J/kg/K	Густина, rho, Kg/m <sup>3</sup>
Корпус	237	900	2700
Плата	17.7	0	0
Резистори	165	500	2500
Мікросхема	150	1000	1740
Конденсатор	20	80	1250
Транзистор	150	1000	1740
Діод	165	1000	2000

### 3.5 Моделювання теплових процесів пристрою у вакуумі

1) Ми встановлюємо теплофізичні властивості структурних елементів (частини пластини та оболонки) у Thermal Desktop, рисунок 1. 3.9, використовуючи дані таблиці 3.2.

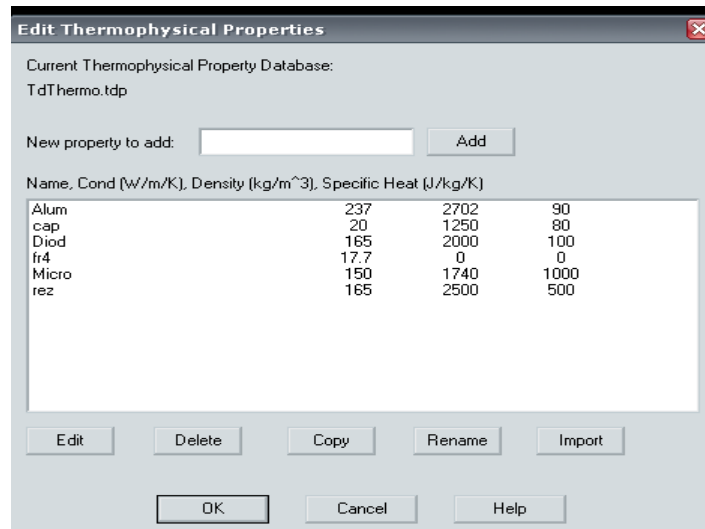


Рисунок 3.9 – Таблиця термофізичних параметрів матеріалів складових пристрою

2) Виберіть одиницю вимірювання. Вибираємо міліметри для побудови моделі.

3) Ми виготовили алюмінієву пластину для виконання функції частини тіла. Ми називаємо субмодель Main і підключаємо її властивість: Alum.

4) За розрахунковими розмірами будуємо дошки, рівень яких залежить від висоти найвищого елемента.

Викликаємо підмодель Board і додаємо до неї відповідні параметри: fr4. Кріпимо пластину до алюмінієвої кришки.

5) Використовуємо модель спрощеної форми у вигляді горизонтального і вертикального (в залежності від установки) циліндра на основі резистора. За його розмір беремо фактичний розмір резистора в дюймах, відповідний його типу.

До підмоделі додаємо параметри матеріалу: rez.

Підніmemo субмодель над пластиною на висоту, що дорівнює половині товщини субмоделі плюс товщина пластини:  $(\backslash\text{діаметр резистора}\backslash + \backslash\text{товщина плати}\backslash)/2$ . робимо це з урахуванням можливої наявності прокладок між корпусом елемента і пластиною або пластинами. Простір, утворений висотою

терміналу. У даному випадку підіймаємо резистор та інші елементи на величину 2 мм. Величина переміщення над платою загалом залежатиме від вказівок по монтажу.

Під'єднуємо резистори до плати.

Змінюємо геометричну модель резисторів на температурну.

7) Будуємо на платі конденсатори, використовуючи форму повнотілого паралелепіпеда.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Cap.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту 2 мм.

Під'єднуємо конденсатори до плати.

Змінюємо геометричну модель конденсаторів на температурну.

8) Будуємо на платі мікросхеми, використовуючи форму повнотілого паралелепіпеда.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Mic.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту 2 мм.

Під'єднуємо мікросхеми до плати.

Змінюємо геометричну модель мікросхем на температурну.

9) Будуємо на платі діоди, використовуючи форму повнотілого горизонтального циліндра.

Приєднуємо параметри матеріалу до субмоделі: Diod.

Підіймаємо субмодель над платою на висоту 2 мм.

Під'єднуємо діоди до плати.

Змінюємо геометричну модель діодів на температурну.

Модель пристрою, утворена таким чином, прийме вигляд як на рис.

3.10 (та наведена в додатку А рис.7).

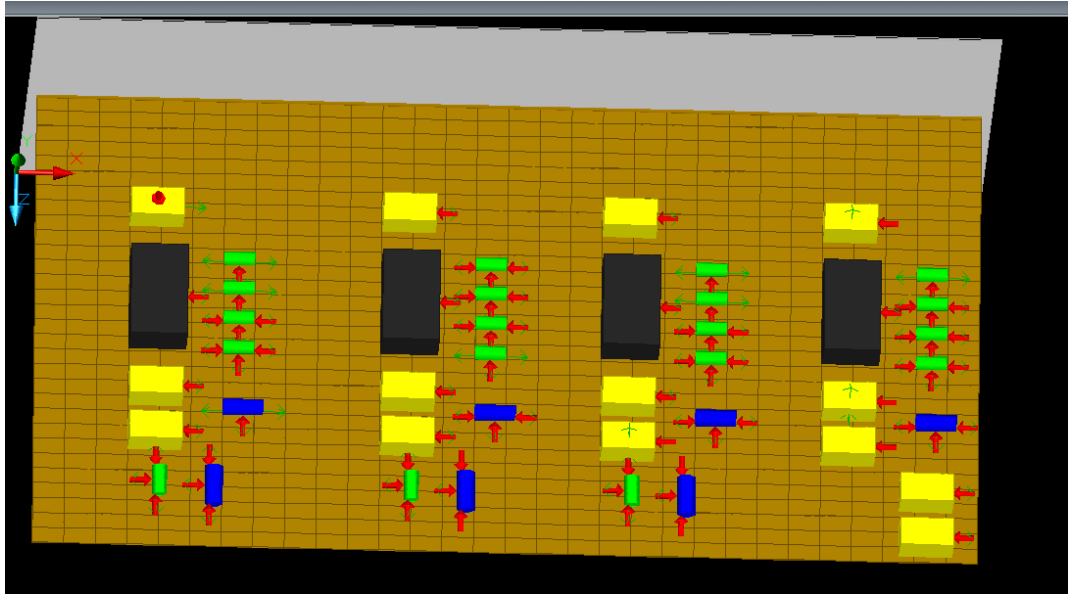


Рисунок 3.10 – Модель пристрою в Thermal Desktop

10) Здійснено моделювання теплових процесів в платі. Задалися часом моделювання 100 с. Сама програма здійснює відповідні розрахунки по введеним даним і формує зображення температурного тону пристрою в динамічному режимі, рис. 3.11.

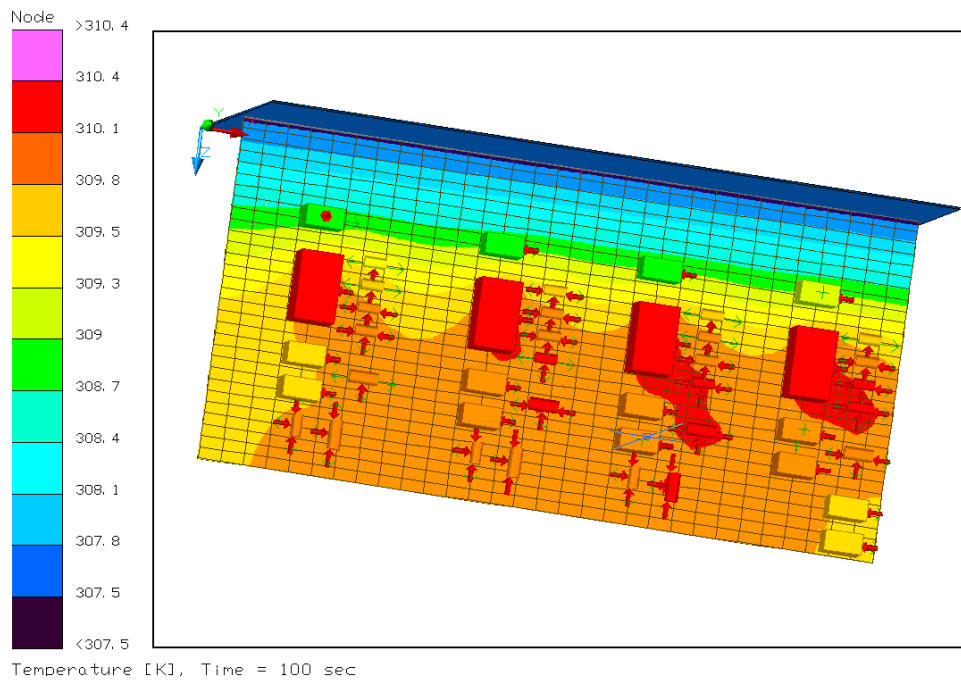


Рисунок 3.11 – Зміна температурного тону друкованої плати під час її нагрівання в динамічному режимі

Програма показує нагрівання друкованої плати у вигляді графіків залежності температури від часу, див. рис.3.12 (додаток А рис.9).

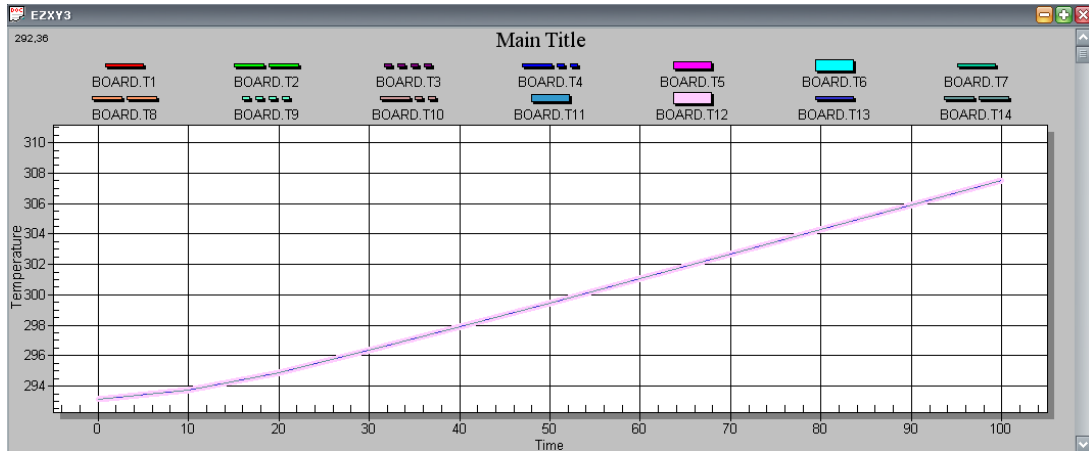


Рисунок 3.12 – Графіки залежності зміни температури від часу для плати

З рисунку 3.13, (та наведена в додатку А рис.10), що показує нагрівання елементної бази, видно, що найбільше нагріваються діод і резистор, що мають велику потужність розсіювання, а матеріал їх виготовлення сприяє цьому.

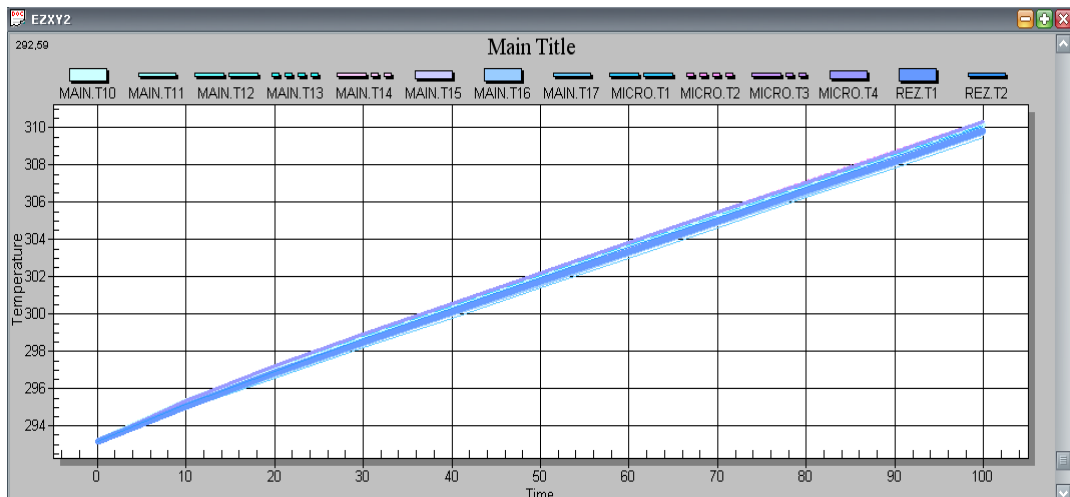


Рисунок 3.13 – Графіки залежності температури від часу для елементної бази



### 3.6 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою

1) Створимо граничну точку (точку обдуву), наприклад, на рівні закінчення плати на висоті, що приблизно дорівнює півтори висоти найвищого елемента розмістимо точку точно по центру плати. Дана точка буде представляти навколишнє середовище з властивою йому температурою та впливати на модель пристрою так, як це робило б навколишнє середовище.

2) Надамо граничній точці характеристик повітря. Задаємося температурою навколишнього середовища, яке представлятиме дана точка: 293 К.

3) Створимо провідники між зовнішнім середовищем та пристроєм. Новостворені провідники матимуть вигляд променів, як це показано на рис.3.14 (та наведена в додатку А рис.11) Вимкнемо провідники для зменшення завантаження екрану.

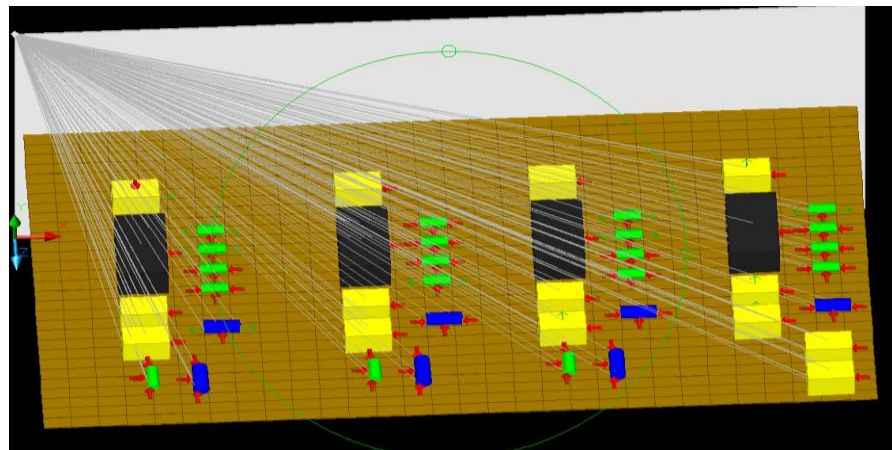


Рисунок 3.14 – Провідники між зовнішнім середовищем та платою

4) Запустимо моделювання, що продемонструє вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі (рис.3.15) (та наведена в додатку А рис.12).

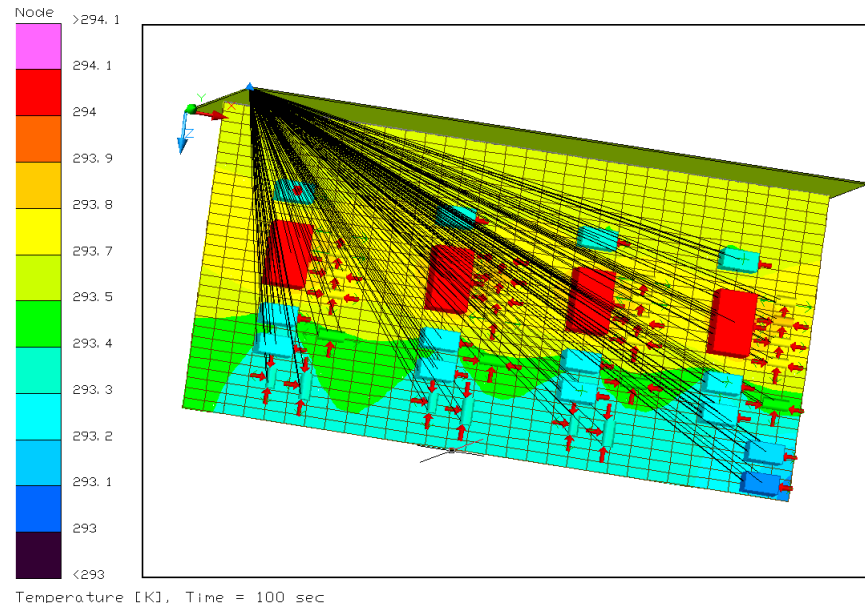


Рисунок 3.15 – Вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

5) Отримаємо також графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати – рис. 3.16 (та наведена в додатку А рис.13) і для елементної бази – рис. 3.17 (та наведена в додатку А рис.14).

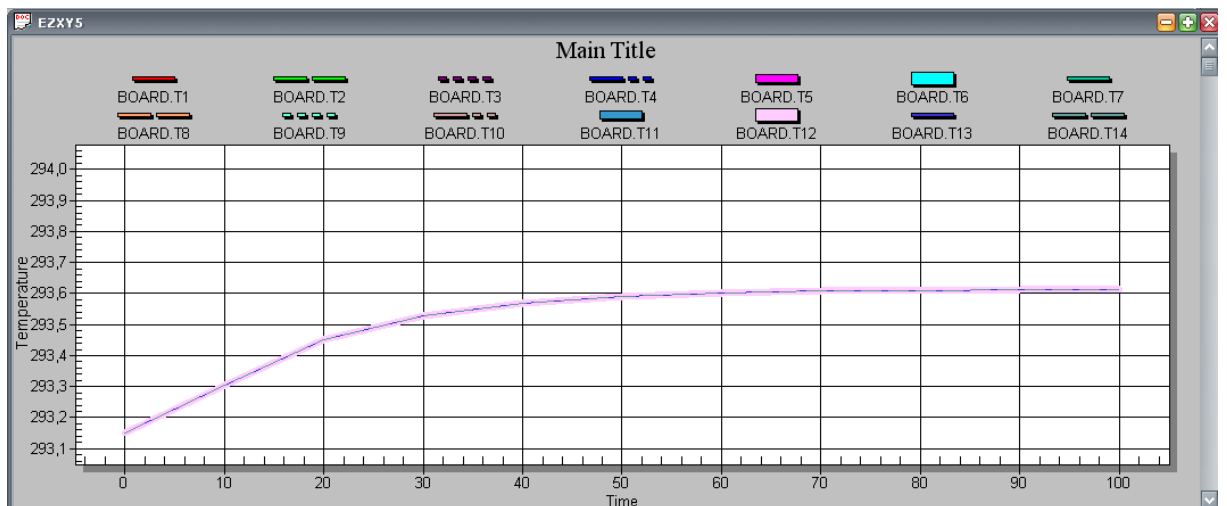


Рисунок 3.16 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати

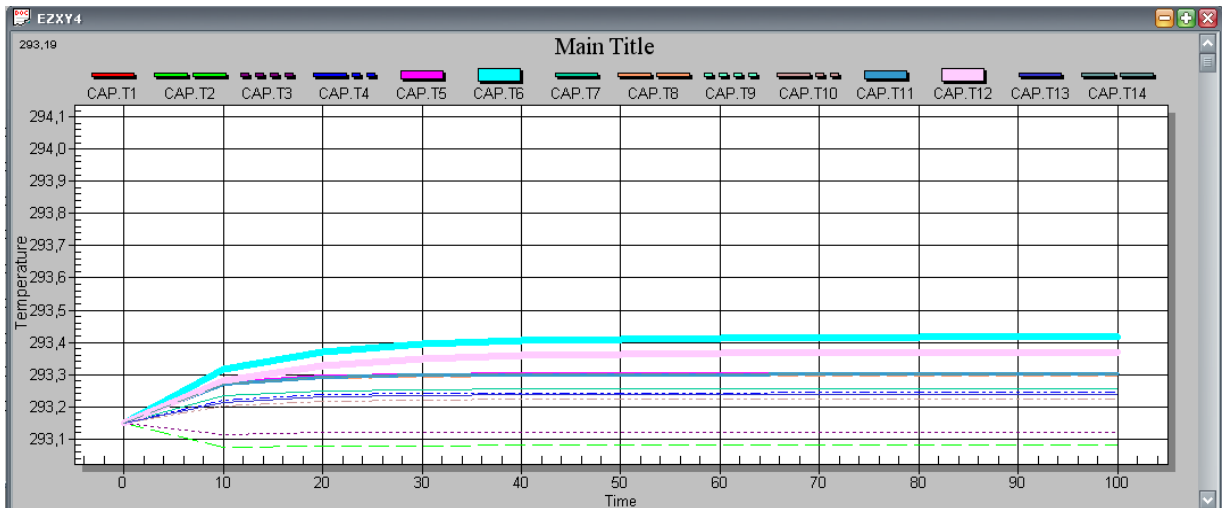


Рисунок 3.17 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для елементної бази

### 3.7 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі

- 1) Видалимо точку обдуву і помістимо плату до корпусу, який буде з того ж матеріалу, з якого була пластина, до якої кріпилася плата.
- 2) Приєднаємо плату до новоствореного корпусу. Утворена модель буде мати вигляд, як на рис. 3.18 (та наведена в додатку А рис.15).

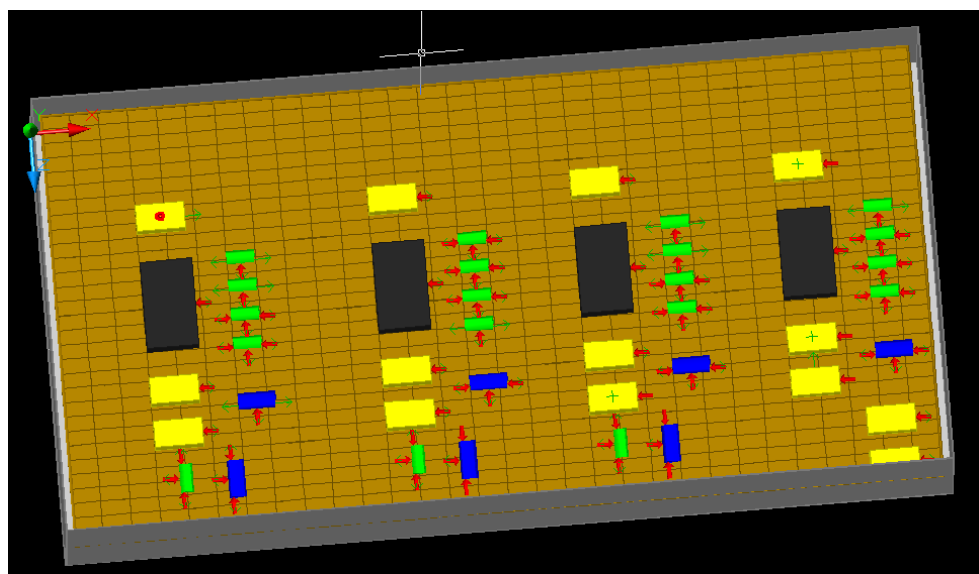


Рисунок 3.18 – Зображення плати в корпусі

3) Здійснимо моделювання. Результат зображено на рис. 3.19 та у вигляді графіків на рис. 3.20 та рис. 3.21.

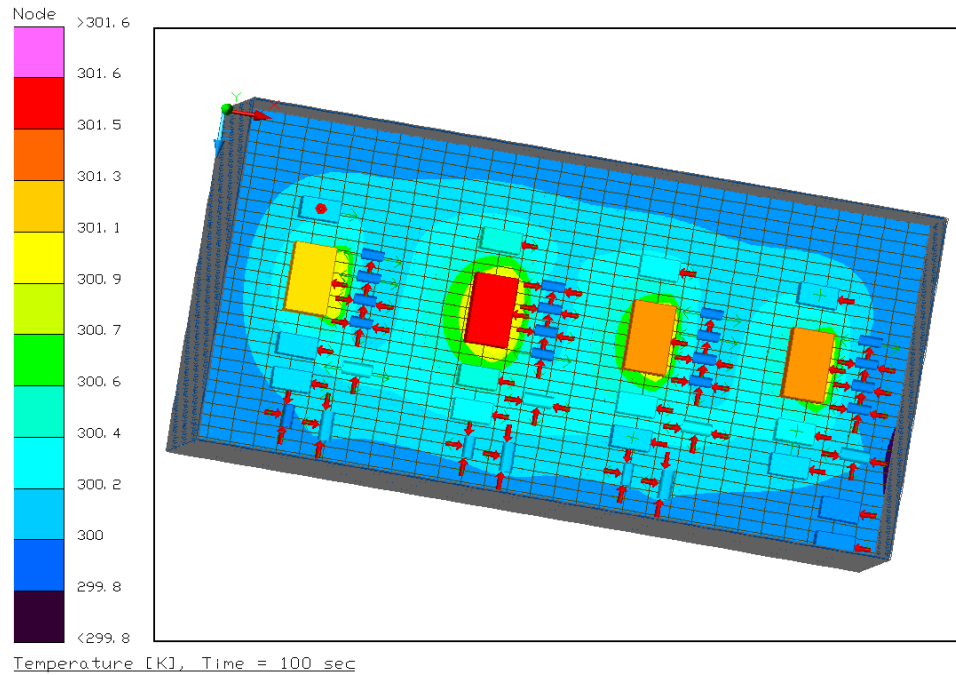


Рисунок 3.19 - Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі

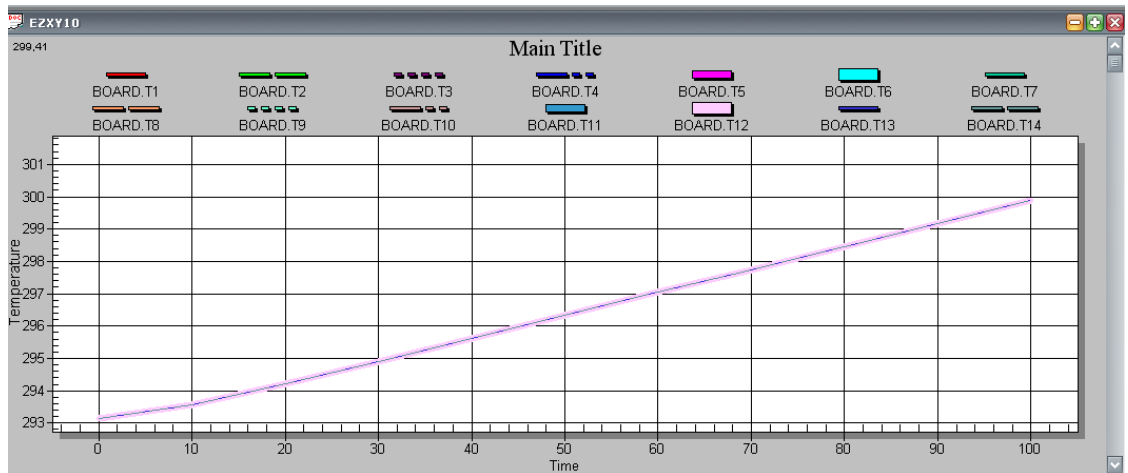


Рисунок 3.20 - Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі

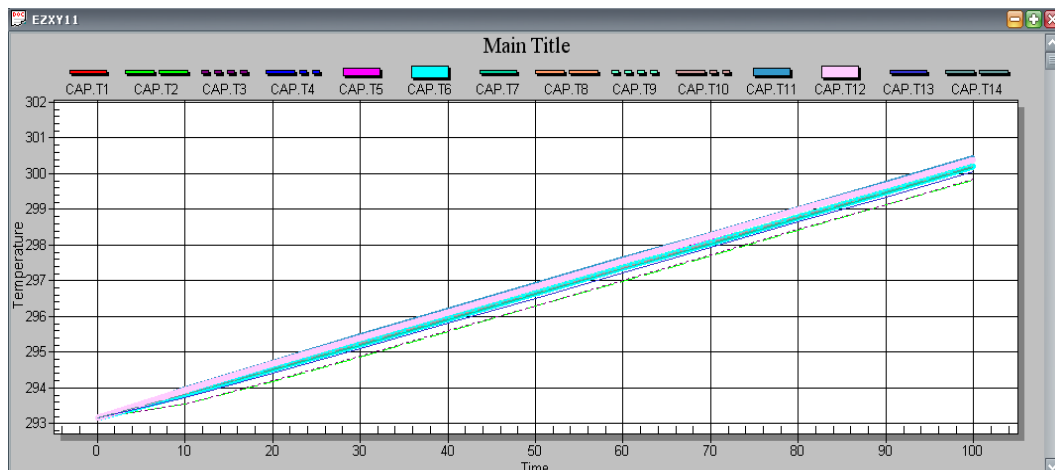


Рисунок 3.21 - Графіки залежності температури від часу для елементної бази плати в корпусі

### 3.8 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі з граничною точкою

1) Створимо точку обдуву в довільному місці пристрою, наприклад, як у даному випадку, біля найбільш нагрітого елемента. Задамо ті ж параметри, що були при моделюванні з точкою обдуву без корпусу. Провідники між пристроєм і середовищем показано на рис. 3.22.

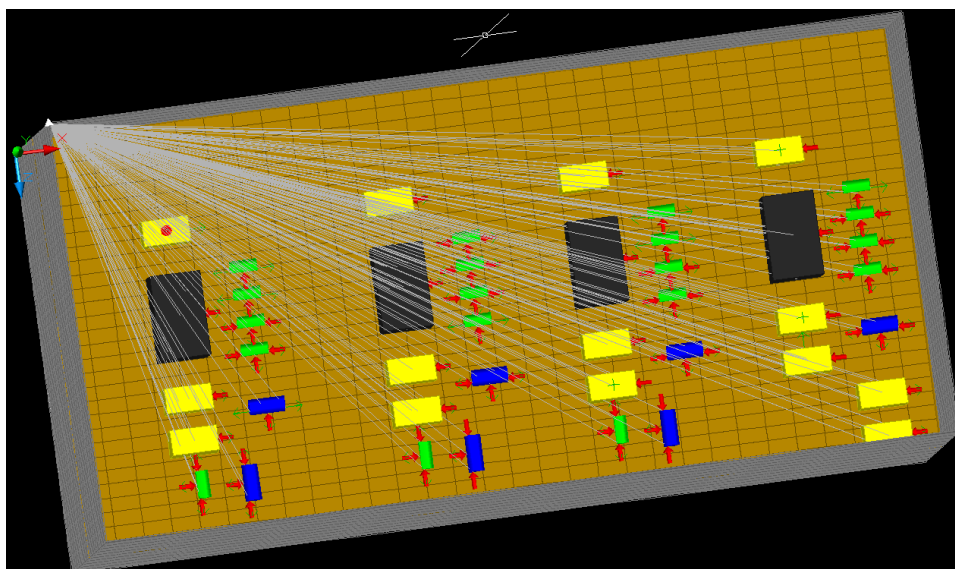


Рисунок 3.22 – Провідники між пристроєм і середовищем

2) Запустимо моделювання, його результати показано на рис. 3.23 і у вигляді графіків на рис. 3.24 та рис. 3.25.

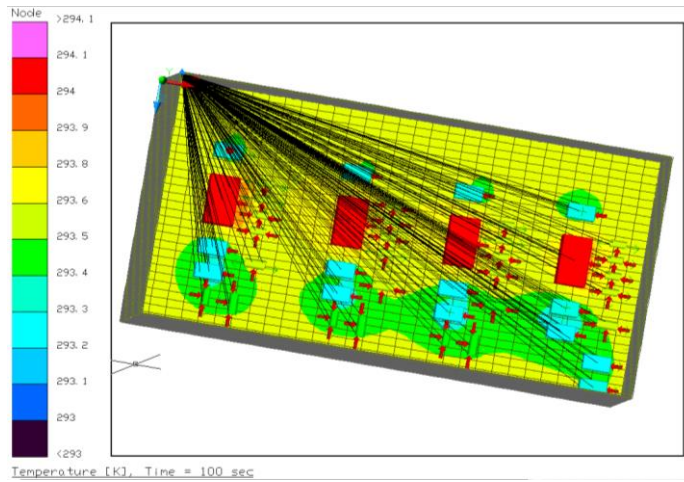


Рисунок 3.23 - Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі з обдувом

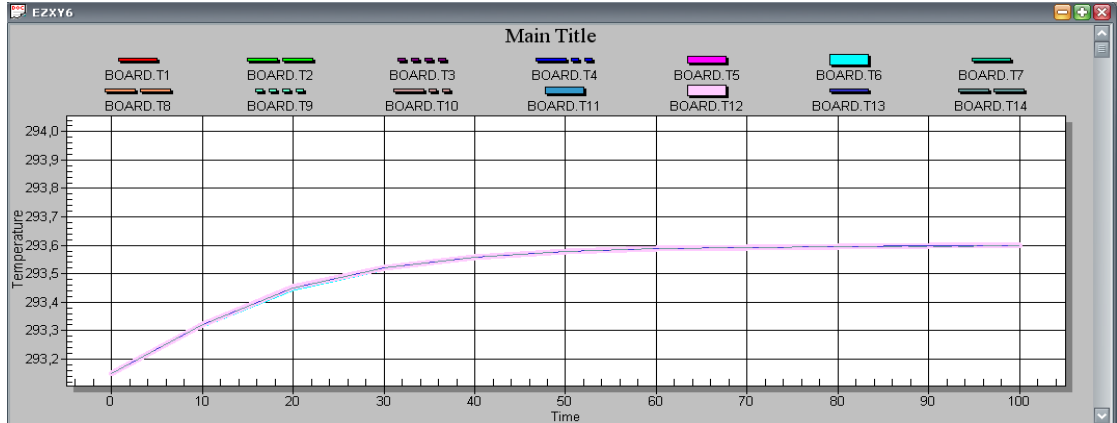


Рисунок 3.24 - Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі з обдувом

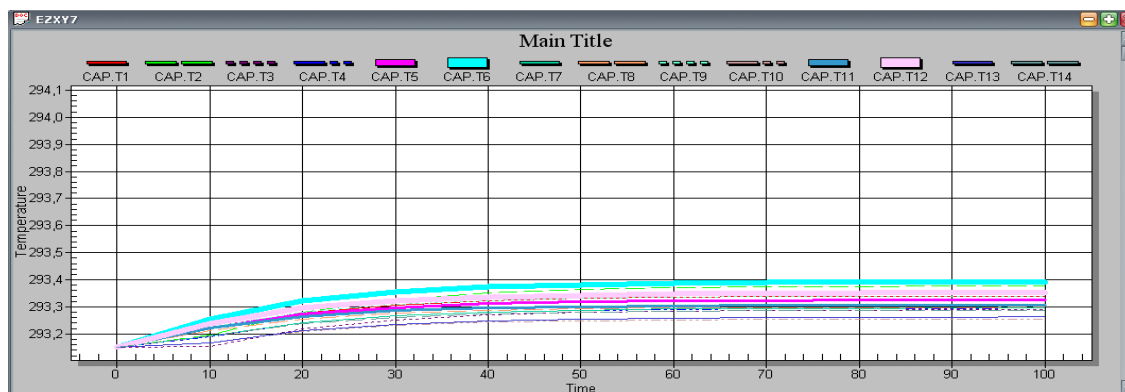


Рисунок 3.25 - Графіки залежності температури від часу для елементної бази плати в корпусі з обдувом

З результатів моделювання видно, що в корпусі певні елементи нагріваються трохи менше, ніж без корпусу. Це пояснюється тим, що стінки корпусу забирають тепло.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

### 4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

За даними Всеукраїнського товариства прав споживачів, понад 40% палива, що продається в даний час, фальсифіковано.

Проблема неякісного бензину завжди гостро стояла для автомобілів всіх типів. Щодня тисячі автомобілів отримують збитки від використання фальсифікованого палива, придбаного на різних АЗС.



Якість автомобільного бензину визначається цілою низкою показників, у тому числі такими, як величина октанового числа, фракційний склад, наявність шкідливих домішок (типу сірки, бензолу або олефінів) і т. п. Виробник зазвичай вказує якість поставленого палива в сертифікаті, який супроводжує товарну партію бензину. Але, на жаль, зазначені дані не завжди відповідають реаліям, оскільки якість бензину може погіршитися і при його доставці споживачеві [13].

У сучасних автомобілях, оснащених електричною системою подачі та розпилення бензину з комп'ютерним блоком управління подачі бензину, октанове число бензину є одним з задаючих параметрів для штатної роботи блоку управління. При невідповідності октанового числа стандартному двигун не може працювати в оптимальному режимі, порушується управління уприскуванням палива аж до аварійної втрати потужності. Наявність приладу контролю якості палива, є дуже бажаною як для водія, так і при сервісному обслуговуванні.

В даний час накопичений великий матеріал по якісному і кількісному контролю якості палив. Досягнуто значних успіхів в їх дослідженні, поліпшені відомі та запропоновано нові методи аналізу. Поряд з хімічними та фізико-хімічними методами визначення якості палив, використовуються фізичні, зокрема спектрометричні методи. Однак, жоден із сучасних методів не дозволяє з вичерпною повнотою визначити склад палива, визначаючого октанове число або вміст корисних і шкідливих компонентів. Лише комбінуючи методи певним чином, можна вирішити цю задачу. За допомогою комбінації методів стало можливим визначати вміст сірки в нафтопродуктах у вигляді елементної сірки, сірководню, меркаптанів, сульфідів і дисульфідів. Інша кількість сірчистих сполук, визначене за різниці, відноситься до залишкових і звичайно являє гомологи тиофена і конденсовані високомолекулярні продукти.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 4.1 [13].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція не підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено на працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

Продовження таблиці 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	4	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	3

5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	4	4	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	5	5	5
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	2	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	5	5
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	5	4	5
12. Практична здійсненність (розробка документів)	5	5	4
Сума балів	45	45	43
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	44,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [13].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$ , розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» становить 44,3 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

#### 4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості ( $B_n$ ) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [14]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

де  $k$  – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

$\alpha_i$  – коефіцієнт, який враховує питому вагу  $i$ -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт  $\alpha_i$  визначається експертним шляхом і

при цьому має виконуватись умова  $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$ ;

$\beta_i$  – відносне значення  $i$ -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення  $\beta_i$  для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (4.2)$$

де  $I_{ni}$  та  $I_{na}$  – чисельні значення конкретного  $i$ -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (4.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі

отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
1. Простота реалізації	бал	8	9	1,125	0,1
2. Завадостійкість	бал	5	9	1,8	0,1
3. Надійність	бал	9	9	1	0,25
4. Швидкодія	бал	6	8	1,33	0,35
5. Вага	кг	0,56	0,34	1,65	0,2

Узагальнений коефіцієнт якості ( $B_n$ ) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,125 \cdot 0,1 + 1,8 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,25 + 1,33 \cdot 0,35 + 1,65 \cdot 0,2 = 1,34.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,34 рази.

### 4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

### 4.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

#### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [13]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.4)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 14600,00 \cdot 21 / 21 = 14600,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	14600,00	695,24	21	14600,00
2. Ст. науковий співробітник	14200,00	676,19	12	8114,29
3. Інженер-схемотехнік	12350,00	588,10	21	12350,00
4. Інженер-радіотехнік 1 кат.	12300,00	585,71	15	8785,71

## Продовження таблиці 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

5. Інженер-метролог	12300,00	585,71	5	2928,57
6. Технік I-ї категорії	7560,00	360,00	15	5400,00
Всього				52178,57

## Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.5)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{3m}}, \quad (4.6)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=6700,00$  (грн.);

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [13];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих



об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,70 \cdot 1,35 / (21 \cdot 8) = 91,53 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{pl} = 91,53 \cdot 6,50 = 594,92 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1. Виготовлення макетної плати	6,50	5	1,70	91,53	594,92
2. Монтаж компонентів	10,00	3	1,35	72,68	726,83
3. Налаштування компонентів	5,20	4	1,50	80,76	419,95
4. Випробування плати	1,25	4	1,50	80,76	100,95
5. Налаштування пристрою	2,50	5	1,70	91,53	228,82
6. Регулювання пристрою	0,60	5	1,70	91,53	54,92
Всього					2126,38

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де  $H_{\text{доп}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (52178,57 + 2126,38) \cdot 10 / 100\% = 5430,50 \text{ (грн.)}$$

#### 4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.8)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (52178,57 + 2126,38 + 5430,50) \cdot 22 / 100\% = 13141,80 \text{ (грн.)}$$

#### 4.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину».

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{e,j}, \quad (4.9)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, (грн/кг.)

$$M_1 = 2,0 \cdot 204,00 \cdot 1,05 - 0 \cdot 0 = 428,40 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір	204,00	2,0	-	-	428,40
Папір для записів	78,00	4,0	-	-	327,60
Органайзер офісний	100,00	4,0	-	-	420,00
Канцелярське приладдя	201,50	4,0	-	-	846,30
Картридж для принтера	1820,00	1,0	-	-	1911,00
Флюс БС-2	580,00	0,0	-	-	18,27
Припой ПОС-61	765,00	0,1	-	-	40,16
Спирт етиловий	210,00	0,5	-	-	110,25
Хлорне залізо	420,00	0,100	-	-	44,10
Склотекстоліт СФ-2Н-35	450,00	0,150	-	-	70,88
Дріт монтажний	360,00	0,040	-	-	15,12
Вода дистильована	15,00	0,100	-	-	1,58
Кислота сірчана	200,00	0,20	-	-	42,00
Шнур	225,00	0,75	-	-	177,19
Всього					4452,84

#### 4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_6$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.10)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;

$C_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, (грн.);

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

$$K_6 = 8 \cdot 2,80 \cdot 1,05 = 23,52 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Конденсатори К10-17А	8	2,80	23,52
Резистори С2-23-0,125	19	2,20	43,89
Діоди КД521	4	5,10	21,42
Світлодіоди АЛ307БМ	3	8,70	27,41
Операційні підсилювачі TL082CN	4	44,60	187,32
Ємнісні датчики ВС	4	185,00	777,00
Елемент живлення 9 В	2	62,00	130,20
Клеми	2	15,80	33,18
Вимикач	1	15,00	15,75
Всього			1259,69

#### 4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування

необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.11)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$  – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1,10 \dots 1,12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 9800,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 10290,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Осцилограф цифровий	1	9800,00	10290,00
Газоаналізатор лабораторний	1	14230,00	14941,50
Всього			25231,50

#### 4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних)

необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де  $C_{inprz}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 8560,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 8988,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладне програмне забезпечення розробки та проектування	1	8560,00	8988,00
Всього			8988,00

#### 4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.13)$$

де  $Ц_б$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_г$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (48320,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1342,22 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Обчислювальний комплекс та комп'ютеризована система проектування	48320,00	3	1	1342,22
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	26500,00	5	1	441,67
Газоаналізатор лабораторний	10860,00	5	1	181,00
Осцилограф цифровий	9400,00	5	1	156,67
Офісна оргтехніка	8970,00	5	1	149,50
Дослідницька лабораторія	240000,00	30	1	666,67
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання Cadence IC Design Virtuoso 06.17.702.	7791,00	3	1	216,42

Продовження таблиці 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Офісне програмне забезпечення (Windows, Microsoft Office)	8250,00	3	1	229,17
Радіомонтажне обладнання	6600,00	5	1	110,00
Всього				3493,31

#### 4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.14)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 7,52$  (грн.);

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 7,52 \cdot 0,95 / 0,97 = 385,02 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.12.



Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Обчислювальний комплекс та комп'ютеризована система проектування	0,32	160,0	385,02
Вимірювальний комплекс метрологічної системи	0,25	160,0	300,80
Газоаналізатор лабораторний	0,10	95,0	71,44
Осцилограф цифровий	0,10	45,0	33,84
Офісна оргтехніка	0,50	6,0	22,56
Радіомонтажне обладнання	0,34	10,0	25,57
Всього			906,91

#### 4.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де  $H_{cb}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо  $H_{cb} = 25\%$ .

$$B_{cb} = (52178,57 + 2126,38) \cdot 25 / 100\% = 13576,24 \text{ (грн.)}$$

4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де  $H_{cn}$  – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо  $H_{cn} = 35\%$ .

$$B_{cn} = (52178,57 + 2126,38) \cdot 35 / 100\% = 19006,73 \text{ (грн.)}$$

4.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_s = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (4.17)$$

де  $H_{ib}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{ib} = 60\%$ .

$$I_g = (52178,57 + 2126,38) \cdot 60 / 100\% = 32582,97 \text{ (грн.)}$$

#### 4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.18)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 105\%$ .

$$B_{нзв} = (52178,57 + 2126,38) \cdot 105 / 100\% = 57020,20 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_v + B_{стел} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_g + B_{нзв}. \quad (4.19)$$

$$B_{\text{заг}} = 52178,57 + 2126,38 + 5430,50 + 13141,80 + 4452,84 + 1259,69 + 25231,50 + 8988,00 + 3493,31 + 906,91 + 13576,24 + 19006,73 + 32582,97 + 57020,20 = 239395,64 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.20)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta=0,9$ .

$$ZB = 239395,64 / 0,9 = 265995,15 \text{ (грн.)}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	1500	1700	2000	1000

$N$  – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 15000 осіб;

$C_o$  – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 2430,00 (грн.);

$\pm\Delta C_o$  – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 101,34 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta\Pi_i$  для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [13]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.21)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).  
Прийmemo  $\rho = 35\%$ ;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році  $\vartheta = 18\%$ ;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (101,34 \cdot 15000,00 + 2531,34 \cdot 1500) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1266588,77$$

(грн.).

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\begin{aligned}\Delta\Pi_2 &= (101,34 \cdot 15000,00 + 2531,34 \cdot 3200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2291672,63 \text{ (грн.)}\end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\begin{aligned}\Delta\Pi_3 &= (101,34 \cdot 15000,00 + 2531,34 \cdot 5200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 3497653,63 \text{ (грн.)}\end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\begin{aligned}\Delta\Pi_4 &= (101,34 \cdot 15000,00 + 2531,34 \cdot 6200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 4100644,13 \text{ (грн.)}\end{aligned}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi\Pi$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.22)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,15$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned}\Pi\Pi &= 1266588,77/(1+0,15)^1 + 2291672,63/(1+0,15)^2 + 3497653,63/(1+0,15)^3 + \\ &+ 4100644,13/(1+0,15)^4 = 1101381,54 + 1732833,74 + 2299764,04 + 2344556,59 = \\ &= 7478535,91 \text{ (грн.)}\end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.23)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо  $k_{инв}=2,1$ ;

$3B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 265995,15 (грн.)

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2,1 \cdot 265995,15 = 558589,82 \text{ (грн.)}$$

Абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$  для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.24)$$

де  $III$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 7478535,91 (грн.);

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, 558589,82 (грн.)

$$E_{абс} = III - PV = 7478535,91 - 558589,82 = 6919946,09 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_г$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_г = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.25)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 6919946,09 (грн.);

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, 558589,82 (грн.);

$T_{жс}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 6919946,09/558589,82)^{1/4} = 0,91.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{мін}$

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (4.26)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні  $d = 0,12$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,4.

$\tau_{мін} = 0,12 + 0,4 = 0,52 < 0,91$  свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» доцільно.

Період окупності інвестицій  $T_{ок}$  які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.27)$$



де  $E_g$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,91 = 1,10 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

#### 4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину» становить 44,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,34 рази.

Також термін окупності становить 1,10 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину».

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Сутність охорони праці полягає в тому, що саме вона є основною передумовою для збереження здоров'я та захисту людини від негативного впливу шкідливих факторів виробничого середовища. Охорона праці, як необхідний компонент у створенні безпеки життєдіяльності людини в умовах виробництва, застосовується на всіх підприємствах, установах і організаціях, незалежно від їхньої форми власності та видів діяльності, а також поширюється на всіх громадян, які займаються працею та іншою діяльністю. Тому порушення правил організації охорони праці призводить до однакової відповідальності перед законом як для роботодавця (власника), так і для працівника (виконавця).

Розробка мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину відбувалося в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; пряма і відбита блискіть; підвищена яскравість; понижена контрастність; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

У відповідності до визначених факторів розробляємо технічні рішення щодо безпечного виконання роботи, а також з гігієни праці та виробничої санітарії.

## 5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

### 5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Підтримування відповідних стандартів та норм важливо для забезпечення безпеки та здоров'я працівника, а також для підвищення продуктивності праці. Наявність належно обладнаного та організованого робочого місця сприяє запобіганню ризику травм та професійних захворювань. Робоче місце для виконання робіт у сидячому положенні повинно відповідати вимогам НПАОП 0.00-7.15-18, ДСТУ 8604:2015, ДСанПіН 3.3.2.007-98, ДСТУ ISO 45001:2019, Директиві № 90/270/ЄЕС та низки інших, а також вимогам технічної естетики та ергономіки, які включають в себе стандарти та норми, спрямовані на створення комфортних, безпечних та здорових умов праці [15].

Основні вимоги до умов праці розробника включають:

- забезпечення площі приміщення не менше 6,0 м<sup>2</sup> на 1 робоче місце, з урахуванням правил розташування робочих місць: не менше 1 м від стіни з вікном і 1,4 м від звичайної стіни, а також мінімальна відстань між боковими поверхнями комп'ютерів не менше 1,2 м та між тильною поверхнею одного комп'ютера та екраном іншого не менше 2,5 м;
- заборона розміщення робочих місць у підвальних або цокольних приміщеннях. Вимога до матеріалів внутрішньої обробки приміщень забороняє використовувати полімерні матеріали, що виділяють шкідливі хімічні речовини, та вимагає матового та антистатичного покриття підлоги;
- забезпечення щоденного вологого прибирання в приміщеннях, де розвивається робота з комп'ютерами, забезпечується збереження оптимального рівня чистоти та обладнання кімнати психологічного розвантаження;
- розробка робочих столів та крісел так, щоб забезпечити оптимальну

робочу позицію, зручне розташування обладнання та документів;

– забезпечення опалення, кондиціонування повітря або припливно-втяжної вентиляції в приміщеннях для роботи з персональними комп'ютерами.

У приміщенні, де розташовані робоче місце розробника, загальна площа складає 15,45 м<sup>2</sup>. В цьому просторі розміщені два робочі місця, кожне з обладнанням ПК. Кількість метражу на одного працівника становить 7,4 м<sup>2</sup>, що відповідає нормам безпеки та нормам організації робочих місць. Об'єм приміщення складає 47,89 м<sup>3</sup>, що в розрахунку на одного працівника становить 23,9 м<sup>3</sup>, що також відповідає вимогам нормативів.

Основні вимоги до робочої пози працівника включають:

– збереження відстані між очима працівника та екраном комп'ютера в межах 45-60 см, при цьому екран повинен бути на висоті 15-20 см вище рівня очей;

– розташування пальців нижче рівня зап'ястя, яке в свою чергу має бути нижче рівня ліктьового суглоба, щоб забезпечити пальцям максимальну свободу руху;

– опущені та розслаблені плечі для забезпечення розслаблення м'язів рук;

– сидіти з випрямленою спиною, при цьому спинка стільця має відповідати природному вигину спини та нижньої частини тулуба людини.

Для підтримання високої працездатності та запобігання професійним захворюванням, слід дотримуватися режимів праці та відпочинку. Згідно з цим, рекомендується проводити 5-хвилинні перерви (крім основної обідньої перерви) після кожної години роботи. Під час таких перерв корисно виконувати спеціальні вправи для зняття втоми очей та підтримання загального м'язового тонусу.

Планування робочого дня з обов'язковими перервами допомагає знизити ступінь фізичної та психологічної напруги, покращити концентрацію

та продуктивність. Моніторинг та регулярна перевірка робочого місця на відповідність нормам та стандартам безпеки також важлива для запобігання можливим ризикам та негативним наслідкам для здоров'я.

### 5.1.2 Електробезпека приміщення

Описане приміщення, в якому здійснювалася розробка мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину, обладнане трьохфазною чотирьохпровідною мережею з заземленою нейтраллю, яка працює при напрузі 380/220 вольт. Згідно з Правилами устрою електроустановок (ПУЕ), це приміщення відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки. У ньому сухий мікроклімат, мінімальний рівень пилу, температура повітря, яка відповідає нормам, а підлоги ізолювані, з мінімальною кількістю заземлених приладів.

Електротехнічне обладнання, включаючи апаратуру, кабелі та розподільні пристрої різних видів і напруг, відповідає всім вимогам для безпечної роботи як при звичайних умовах експлуатації, так і при аварійних ситуаціях, таких як короткі замикання, перенапруги та перевантаження.

Це забезпечує надійність та безпеку електричних систем у даному приміщенні, знижує ризик виникнення небезпечних ситуацій та забезпечує нормальну експлуатацію обладнання та освітлення.

Для забезпечення безпеки в даному приміщенні застосовані наступні технічні рішення [16]:

1. Забезпечена недоступність струмопровідних частин шляхом використання схованої проводки та прокладення кабелю у спеціальних ринвах.

2. Забезпечене ізолювання струмопровідних частин за допомогою ізоляції, опір якої не менше нормованого. Передбачено постійний контроль та профілактику ізоляції для збереження її надійності.

3. Напруга освітлювальної мережі складає 220 В із заземленою

нейтраллю.

Згідно з Правилами устрою електроустановок (ПУЕ), як захист від ураження людей електричним струмом, використовується заземлення. Крім того, при нормальному режимі роботи, безпека забезпечується за допомогою ізолюючих пристроїв, огороження струмоведучих частин та використанням низьких напруг. Особи, які обслуговують електроустановки, повинні користуватися засобами індивідуального захисту, такими як спеціалізоване взуття та рукавиці. Засоби захисту повинні піддаватися періодичному випробуванню, а також мають бути захищені від механічних пошкоджень та впливу факторів, які можуть погіршити їх діелектричні властивості.

Відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладена на роботодавця, який повинен:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок; створити та укомплектувати електротехнічну службу з числа осіб, які досягли 18-річного віку, які мають відповідну освіту, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань;

- розробити і затвердити посадові інструкції працівників та інструкції з безпечного виконання робіт;

- забезпечити навчання і перевірку знань працівників, своєчасний огляд електроустановок та проведення профілактичних, протиаварійних та приймально-здавальних випробувань.

Для безпосереднього виконання функцій з організації експлуатації електроустановок призначається особа, відповідальна за електрогосподарство.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови, або мікроклімат виробничого середовища, мають вагомий вплив на стан та працездатність працівника протягом робочого дня.

Температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та теплове випромінювання нагрітих поверхонь визначають характер внутрішнього клімату виробничих приміщень.

У процесі виконання роботи людина перебуває у постійній тепловій взаємодії з виробничим середовищем. Розробка мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину належить до категорії І б за Гігієнічною класифікацією праці. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії під час теплого періоду року наведені в таблиці 5.1, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [17].

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

У цілях забезпечення необхідних параметрів мікроклімату в приміщенні використовуються такі технічні рішення:

1. Для підтримання оптимальної температури в будівлі використовується централізована парова система опалення. Ця система забезпечує необхідний рівень тепла в приміщенні, що відповідає нормативам та комфорту для працівників.

2. Для забезпечення допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні використовується система припливно-витяжної вентиляції. Ця система дозволяє підтримувати необхідну вентиляцію та обмін повітрям в приміщенні, забезпечуючи свіжий та безпечний для дихання повітря.

Ці технічні рішення спрямовані на створення комфортних умов праці для працівників та дотримання нормативів мікроклімату виробничого приміщення.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітря, що оточує нас, складається з різних складових, зокрема, 78% азоту, 21% кисню, 0,03% вуглекислого газу та інших речовин, таких як вуглець, озон і багато інших. Проте в закритому приміщенні склад повітря може змінюватися через різні фактори. В повітрі приміщення можуть знаходитися тисячі різних хімічних сполук у вигляді аерозолів (твердих часток, рідини) або у формі газів.

Для забезпечення безпечних умов праці регулюється забруднення повітряного середовища. Основними джерелами забруднення повітря в робочій зоні в процесі розробки мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину є комп'ютери та інша офісна техніка. В таблиці 5.2 наведені ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони [18].

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )	3	1	4
Формальдегід	0,35	0,03	2
Пил нетоксичний	25	10	4

Санітарні правила і нормативи, визначені у СанПіН 2.2.4.1294-03, встановлюють стандарти для іонізації повітря в промислових та громадських приміщеннях. Цей документ регулює такі параметри, як мінімально допустимий рівень іонізації, максимально допустимий рівень і коефіцієнт уніполярності. Це означає, що він визначає оптимальні та безпечні концентрації іонів в повітрі, які забезпечують комфорт та безпеку для людей,



які перебувають в цих приміщеннях. В таблиці 5.3 наведені числові значення для цих параметрів.

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

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

Для забезпечення безпечного та здорового складу повітря в робочій зоні використовується механічна вентиляція, яка видаляє шкідливі речовини, які можуть потрапити в повітря робочої зони. Паралельно, кількість пилу в приміщенні підтримується на низькому рівні завдяки регулярному вологому прибиранню. Ці заходи спрямовані на забезпечення здорових та безпечних умов для працівників у робочому середовищі.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення робочої зони та робочих місць є ключовим фактором для створення сприятливих умов праці. Правильно розраховане та виконане освітлення допомагає зберегти гострість зору та знижує втому очей працівників протягом тривалого робочого дня. Це, в свою чергу, сприяє зменшенню виробничого травматизму та професійних захворювань очей.

Проте, важливо зазначити, що джерела світла, такі як світильники та вікна, можуть створювати віддзеркалення на поверхні екрану, що негативно позначається на точності відображення знаків та може призвести до фізіологічних проблем для працівників. Особливо це стає актуальним при тривалій роботі. Тому важливо мінімізувати віддзеркалення, включаючи віддзеркалення від вторинних джерел світла, щоб забезпечити комфортні та ефективні умови праці.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (згідно ДБН В.2.5-28:2018) [19] зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підривок 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 і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високі точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для нормалізації виробничого освітлення та створення оптимальних умов праці рекомендовані такі заходи:

1. Максимальне використання природного освітлення за рахунок оптимального позиціонування робочого місця та забезпечення доступу сонячних променів до приміщень.

2. Використання світлодіодних (LED) світильників: LED-світильники ефективні, довговічні та енергоефективні, а також надають яскраве та якісне освітлення. Додатково варто передбачити встановлення систем автоматичного керування освітлення, які регулюють яскравість в залежності від природного світла та часу доби.

3. Проведення періодичних перевірок та обслуговування освітлення, вчасно замінюючи лампи та виправляючи дефекти.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум – це сума звуків різної інтенсивності і частоти, яка виникає у повітрі та має значний вплив на працездатність працівників. Джерелами такого шуму є можуть бути транспортні засоби, насоси, індустриальні установки, пневматичні та електричні інструменти, верстати, будівельну техніку та інше. Інтенсивний шум також виникає при певних технологічних процесах, таких як клепання, карбування, обрубка, вибивка лиття, штампування, робота на ткацьких верстатах, випробування авіадвигунів тощо.

Регульовані нормами рівні звукового тиску та рівні звуку (позначені як LA) визначені для приміщень, де проводиться розробка мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину наведені у таблиці 5.5 відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [20].

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для досягнення прийнятних рівнів шуму у приміщенні видається доцільним використання акустично-поглинаючих матеріалів, пасивного охолодження комп'ютерів та раціональне розташування виробничого устаткування.

### 5.2.5 Виробничі випромінювання

Робота за комп'ютером призводить до генерації електромагнітного поля (ЕМП) на робочому місці. Інтенсивність цього поля в конкретній точці залежить від різноманітних факторів, таких як параметри електромагнітного випромінювача (потужність випромінювання, довжина хвилі, відстань, напрямок випромінювання), вплив середовища, крізь яке воно поширюється, а також розподіл поля навколо точки спостереження, що залежить від місцевих об'єктів.

Рівень впливу електромагнітних випромінювань на організм працівника залежить від частотного діапазону, тривалості опромінення, характеру випромінювання, часового режиму опромінення, площі поверхні тіла, яка зазнає впливу, і індивідуальних особливостей організму.

Санітарні норми СанПіН 2.2.4.1191-03 [23] встановлюють гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від тривалості опромінення. Згідно з цими нормами, при напруженості ЕМП до 5 кВ/м протягом усього робочого дня вплив на працівника є допустимим. Гранично допустимі рівні для радіочастотного діапазону становлять 25 В/м для електричного поля та 250 нТл для магнітного поля.

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на розробника, рекомендується дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів під час розробки мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [24].

Загальні енергозатрати організму: до 174 Вт.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): до 40 000.

Робоча поза: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: до 50 раз.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

– зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

– сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями.

Заключна оцінка фактичних значень параметрів;

– розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

– зосередження (% за зміну) – до 5-75%;

– щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

– навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

– спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6 год.

– навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

– тривалість робочого дня – більше 8 год;

– змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, розробка мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій

#### 5.3.1 Дія вогню на живі організми під час пожежі

Якщо людина перебуває в зоні впливу пожежі, то вона може потрапити під дію таких небезпечних та шкідливих чинників: токсичні продукти горіння; вогонь; підвищена температура середовища; дим; недостатність кисню; руйнування будівельних конструкцій; вибухи; витікання небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі; паніка.

Токсичні продукти горіння становлять найбільшу загрозу для життя людини, особливо при пожежах у будівлях. Адже в сучасних виробничих, побутових та адміністративних приміщеннях знаходиться значна кількість синтетичних матеріалів, що є основними джерелами токсичних продуктів горіння. Так, при горінні пінополіуретану та капрону утворюється ціанистий водень (синильна кислота), вініласту – хлористий водень та оксид вуглецю, лінолеуму – сірководень та сірчистий газ і т. д. Найчастіше при пожежах відзначається високий вміст у повітрі оксиду вуглецю. Так, у підвалах, шахтах, тунелях, складах його вміст може становити від 0,15 до 1,5%, а в приміщеннях – 0,1-0,6%.

Вогонь – надзвичайно небезпечний чинник пожежі, однак випадки його безпосередньої дії на людей зустрічаються досить рідко. Під час пожежі температура полум'я може досягати 1200-1400 °С і у людей, що знаходяться у зоні пожежі випромінювання полум'я можуть викликати опіки та больові відчуття.

Небезпека підвищеної температури середовища полягає у тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами горіння може призвести до ураження органів дихання та смерті. В умовах пожежі підвищення температури середовища до 60 °С вже є життєво небезпечною для людини.

Дим являє собою велику кількість видимих найдрібніших твердих та (або) рідинних часточок незгорівших речовин, що знаходяться в газах у завислому стані. Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок (сильний кашель, сльозотечу тощо). Крім того, у задимлених приміщеннях внаслідок погіршення видимості сповільнюється евакуація людей, а часом провести її зовсім неможливо. Так, при значній задимленості приміщення видимість предметів, що освітлюються лампочкою потужністю 20 Вт, складає не більше 2,5 м.

Недостатність кисню спричинена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція окислення горючих речовин та матеріалів. Небезпечною для життя людини уже вважається ситуація, коли вміст кисню в повітрі знижується до 14% (норма 21 %). При цьому втрачається координація рухів, з'являється кволість, запаморочення, гальмування свідомості. При концентрації кисню 9-11% смерть настає через кілька хвилин.

Вибухи, витікання небезпечних речовин можуть бути спричинені їх нагріванням під час пожежі, розгерметизацією посудин та трубопроводів з небезпечними рідинами та газами тощо. Вибухи збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових осередків пожеж. Люди, що перебувають поблизу, можуть потрапити під дію вибухової хвилі, діставати ураження уламками тощо.

Руйнування будівельних конструкцій відбувається внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур та вибухів [27].

### 5.1.2 Визначення нижньої та верхньої концентраційної межі спалахування пожежовибухо-небезпечної суміші

Вихідні дані: до складу пожежовибухонебезпечної суміші входять: легкі фракції – 40 %, середні фракції – 50 %, важкі фракції – 10 %, бензол – 1 %.

Нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування)  $C$  суміші декількох горючих речовин при початковій температурі суміші 25 °С можна орієнтовно визначити за формулою Ле-Шателе

$$C = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{\sum_{k=1}^n C_k / C_{mk}} [\% \text{ об.}], \quad (5.1)$$

де  $n$  – кількість горючих елементів суміші;

$C_k$  – концентрація  $k$ -го компонента в суміші, % об.;

$C_{mk}$  – нижня або верхня концентраційна межа (НКМ або ВКМ) поширення полум'я  $k$ -го компонента суміші, % об.

Вибираємо НКМ та ВКМ усіх складових пожежовибухонебезпечної суміші: легкі фракції – 0,74/5 %, середні фракції – 0,77/5,2 %, важкі фракції – 0,8/5,5 %, бензол – 1,4/7,1 %.

Використовуючи формулу (5.1) знайдемо нижню та верхню концентраційну межу поширення полум'я (спалахування) суміші

$$C_{НКМ} = \frac{40 + 50 + 10 + 1}{40/0,74 + 50/0,77 + 10/0,8 + 1/1,4} = 0,76 (\% \text{ об.});$$

$$C_{ВКМ} = \frac{40 + 50 + 10 + 1}{40/5 + 50/5,2 + 10/5,5 + 1/7,1} = 5,16 (\% \text{ об.}).$$



### 5.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій

Для попередження пожежі проводяться організаційні, технічні, експлуатаційні та режимні заходи.

До організаційних заходів відносяться: навчання працюючих правилам пожежної безпеки, проведення інструктажів, бесід, лекцій тощо.

До технічних – дотримування протипожежних правил і норм при встановленні опалення, вентиляційного обладнання.

До експлуатаційних – заходи, які передбачають правильну експлуатацію машин, обладнання, транспорту, правильне утримання будинків та території.

### 5.4 Висновки до розділу

Визначено нижню та верхню концентраційну межу спалахування пожежовибухо-небезпечної суміші. Розроблено превентивні заходи по підвищенню безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

Під час магістерської кваліфікаційної роботи проводились розроблення мікроелектронного пристрою для контролю октанового числа бензину. З цього питання проведено огляд літератури, проаналізовано існуючі аналоги та підтверджено актуальність обраної теми.

У статті проаналізовано основні засоби контролю октанового числа бензину на основі ємнісного ефекту пристрою негативного диференціального опору.

В результаті експериментальних досліджень автомобільних палив з використанням ємнісних первинних перетворювачів та аналізу отриманих математичних моделей зроблено наступні висновки:

1) Біполярна замінна схема живлення об'єкта контролю в діапазоні частот 1 кГц-100 кГц є чотирьохелементною.

2) На частотах тестового сигналу в акустичному та ультразвуковому діапазоні реактивна складова імпедансу такого біполярного пристрою має дві складові, які лінійно залежать від частоти, тоді як активна складова має постійну складову та частотно-залежну. . Нелінійний по частоті.

Для побудови інструменту оцінки якості автомобільного бензину по залежності діелектричної проникності від його маси необхідно:

1) Використовувати тестовий сигнал на частотах вище 1 кГц, що дає можливість оцінити якість реактивних і активних параметрів альтернатив.

2) Враховуйте, що рівень тестового сигналу не вплине на результати вимірювання компонента.

3) Використання диференціального методу для оцінки якості вимагає порівняння значень реактивної та активної складової імпедансу контрольованого зразка бензину та базового зразка бензину з фіксованою частотою.

У проектній частині роботи розраховано електромагнітну сумісність компонентів, механічну міцність друкованих плат (ударну, вібраційну та надійну).

При розрахунку плати електромагнітна сумісність на провідниках, розташованих на одній поверхні друкованої плати, взаємна ємність та індуктивність провідників, розташованих на одній поверхні друкованої плати, становить 9,722 пФ і 28,43 нГн, обидва в межах нормальний діапазон; при розрахунку вартості надійності отримано 80 520 годин безвідмовної роботи; при розрахунку удару бачимо, що спосіб кріплення і товщина пластини забезпечують найменшу власну частоту вібрації, максимальне вібропереміщення під дією вібрації і мінімальне прискорення удару під дією сили удару.

За розрахунками можна стверджувати, що пристрій відповідає всім технічним і технологічним характеристикам і може бути введений в експлуатацію.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Контроль якості бензину / Є. В. Походило, А. В. Серкіз, П. Г. Столярчук, Р. В. Курдидик. – Вінниця : КУСС, 2001. – 68 с.
2. Бензини автомобільні. Технічні умови : ДСТУ 4063-2001. – Чинний від 2002-07-01. – К : Держстандарт України, 2002. – 25 ст. (Державний стандарт України).
3. Пат. 2001075124 Україна, МПК G 01 N 25/32/ Пристрій для визначення октанового числа бензинів / О.А. Бейко, А.М. Редзюк, В.О. Рубцов, Ю.О. Бейко, заявники і власники патенту держ. Автотранспорт.наук.-досл.і проект. ін.-т. - № 47086; заявл. 18.07.01; опубл. 15.06.04, Бюл. №6.
4. Походило Є. В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : 05.11.05 / Походило Є. В., Львівська політехніка. – Львів, 2004. – 40 с.
5. Пат. 2002064873 Україна, МПК G 01 N 25/20/ Спосіб визначення октанового числа палива і пристрій для його здійснення / В.В. Гоцуленко, В.П. Кисельов, Ю.В. Кисельов, заявники і власники патенту мал.прив.підприєм.наук.-техн центр «ПЛЮС РАДІО».- № 57987; заявл. 13.06.02; опубл. 15.07.03, Бюл. №14.
6. Семенов А.О., Галінський М.В., Ковальчук Я.С. Інформаційно-вимірювальна система метеозонда з бездротовою передачею даних. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПІРН-2023)», 15-17 листопада 2023 року. С. 1-2.  
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/spirn/spirn2023/paper/view/19254>
7. Нікольський О. І. Автоматизація конструкторсько-технологічного проектування ЕОЗ: методичні вказівки / О. І. Нікольський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 103 с.

8. Нікольський О. І. Конструювання РЕА : навчальний посібник / О. І. Нікольський, Р. Ф. Лободзінська. - Вінниця. ВНТУ, 2013.- 79 с.
9. Калінін В.І. Математичні моделі та методика оцінки експлуатаційної надійності елементів і виробів електронної техніки : навчальний посібник / В. І. Калінін, О. А. Костюк, А. А. Грудін В. – В. : ВДТУ, 1999. - 56 с.
10. Нікольський О. І. Моделювання теплових процесів в РЕА : навчальний посібник / О. І. Нікольський, О. П. Шеремета. – Вінниця : ВНТУ, 2013.
11. Філінюк М. А. Проектування конструкцій РЕА. / Філінюк М. А, Козлов В. В., Пастушенко О. Л. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 99 с.
12. Барась С. Т. Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем : навчальний посібник. / Барась С. Т. Лободзінська Р. Ф. Лазарев О. О. – Вінниця : ВНТУ. 2004. – 82 с.
13. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
14. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.
15. ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення". [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3074958732556240833?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2)
16. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених [наказом](#) Міністерства охорони здоров'я України від 08 квітня 2014 року № 248.
17. Директива № 90/270/ЕЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями. Режим доступу:

<https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

18. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ. Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

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

20. СН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу до сторінки: [http://hrliga.com/index.php?module=norm\\_base&op=view&id=819](http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819)

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

22. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=71028](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028).

23. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004).

24. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=77160](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160)

25. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

26. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і

громадських приміщень». Режим доступу:

<http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

27. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.


Додаток А  
(обов'язковий)

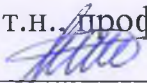
## ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

### МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-22м  
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна  
техніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Ковальчук Я.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС  
 Семенов А.О.  
(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2023 р.



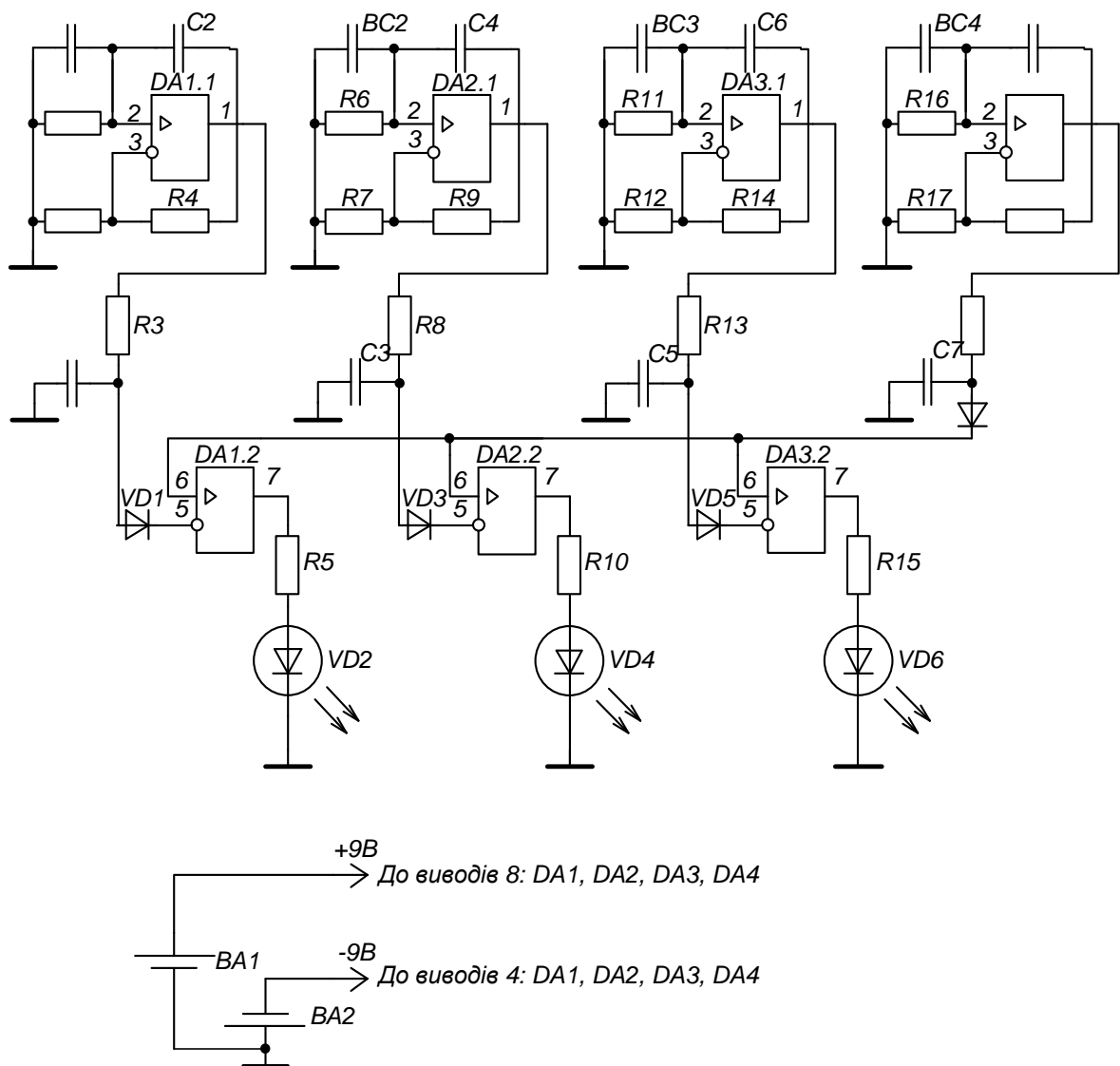


Рисунок 1 - Схема пристрою для контролю октанового числа бензину

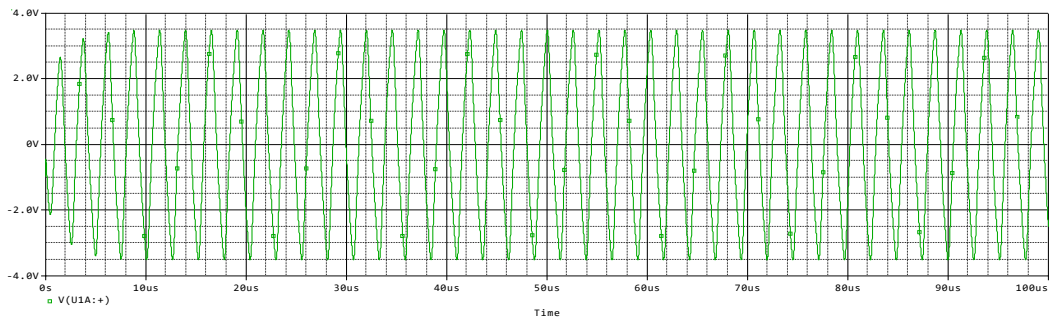


Рисунок 2 - Вихідний сигнал першого каналу

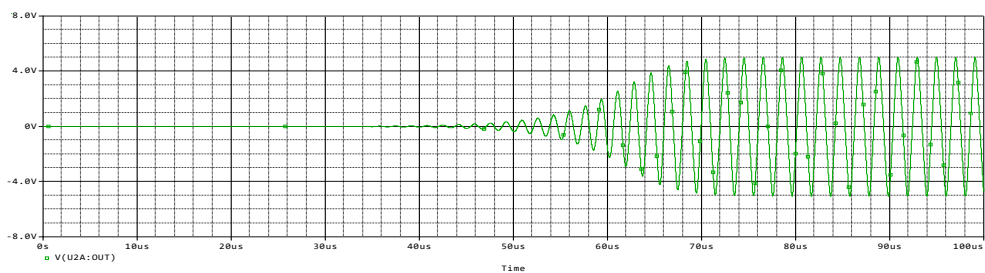


Рисунок 3 - Вихідний сигнал другого каналу

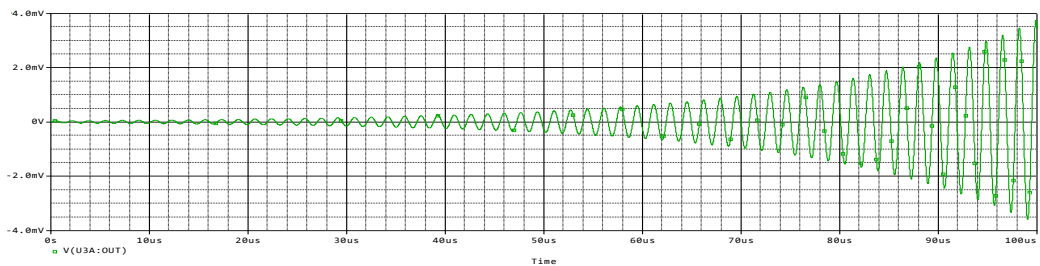


Рисунок 4 - Вихідний сигнал третього каналу

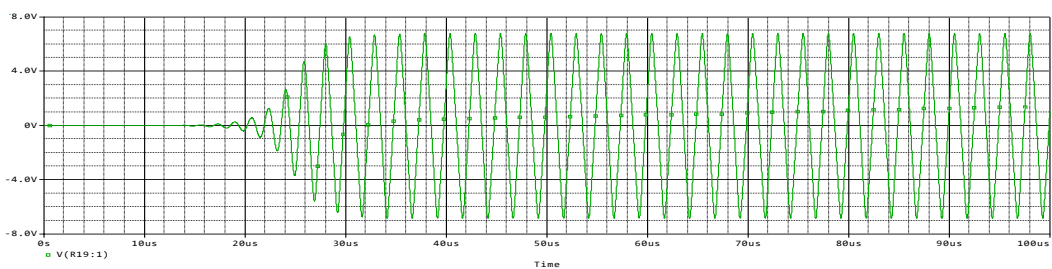


Рисунок 5 - Вихідний сигнал четвертого каналу

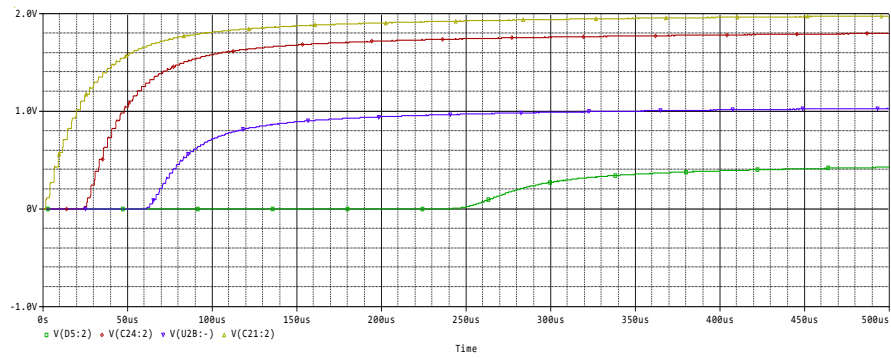


Рисунок 6 - Вихідні сигнали усіх каналів: 1- сигнал першого каналу; 2 - сигнал четвертого каналу; 3 – сигнал другого каналу; 4 – сигнал третього каналу

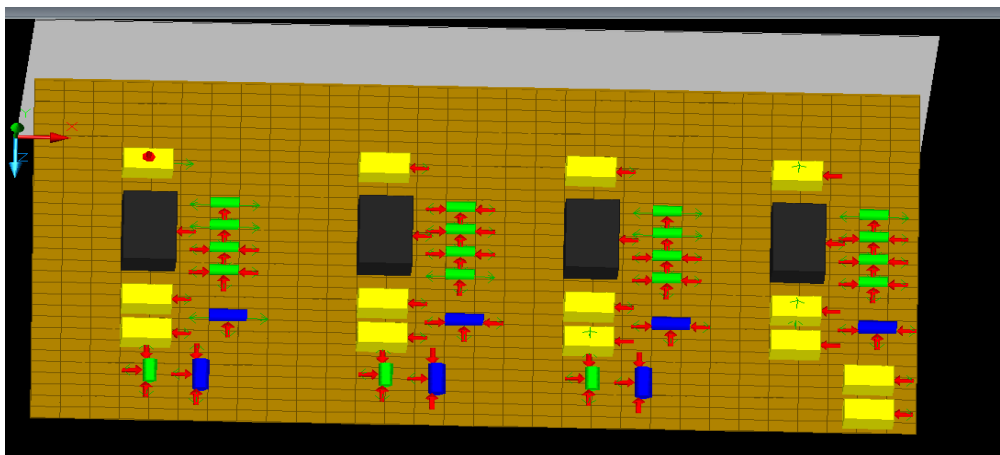


Рисунок 7 – Модель пристрою в Thermal Desktop

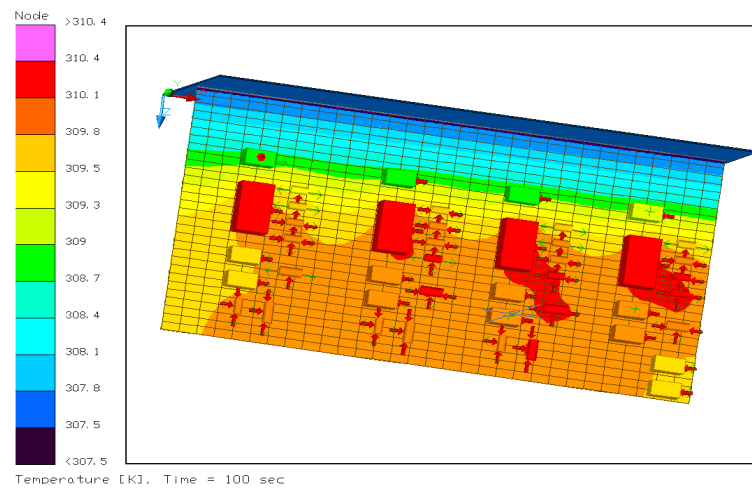


Рисунок 8 – Зміна температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

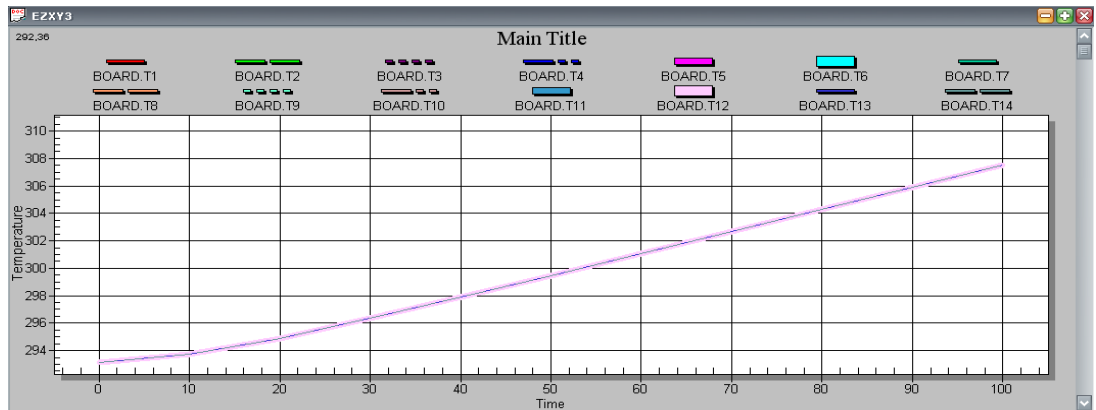


Рисунок 9 – Графіки залежності температури від часу для плати

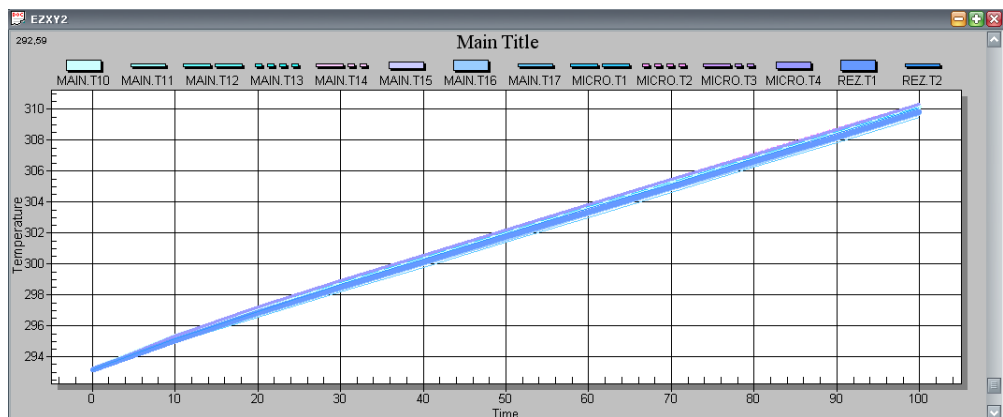


Рисунок 10 – Графіки залежності температури від часу для елементної бази

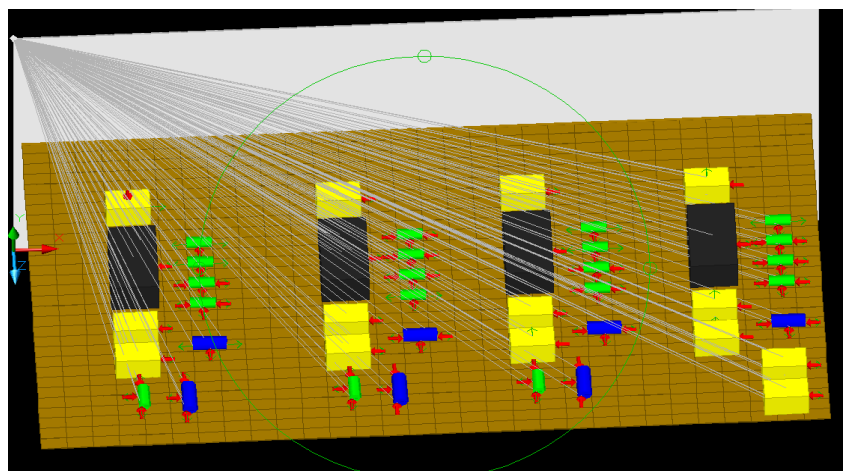


Рисунок 11 – Провідники між зовнішнім середовищем та платою

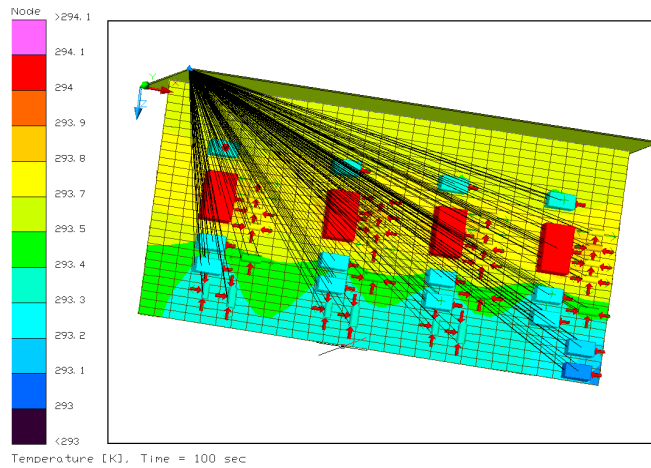


Рисунок 12 – Вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

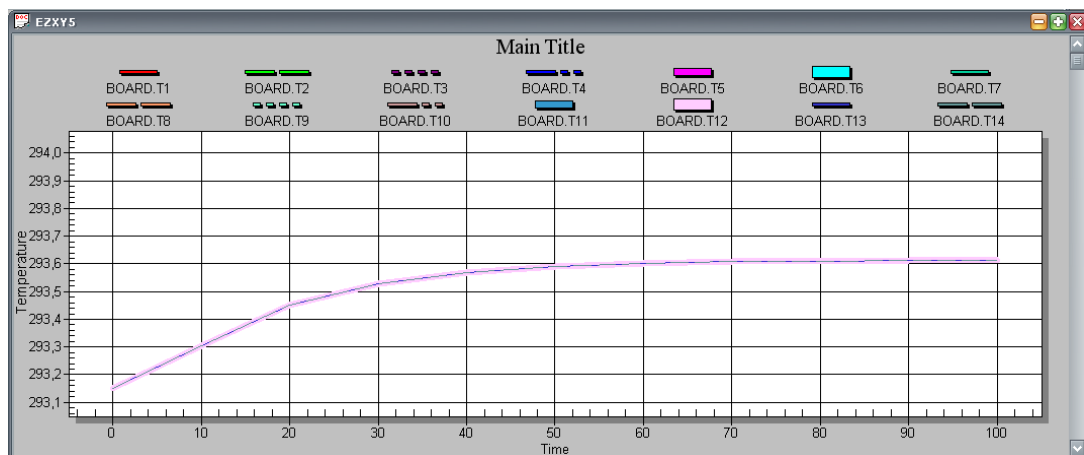


Рисунок 13 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати

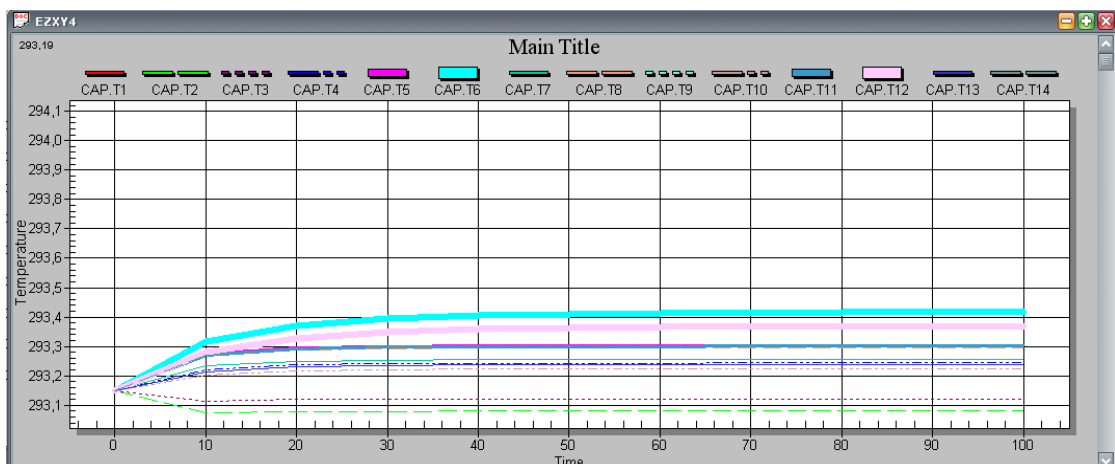


Рисунок 14 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для елементної бази

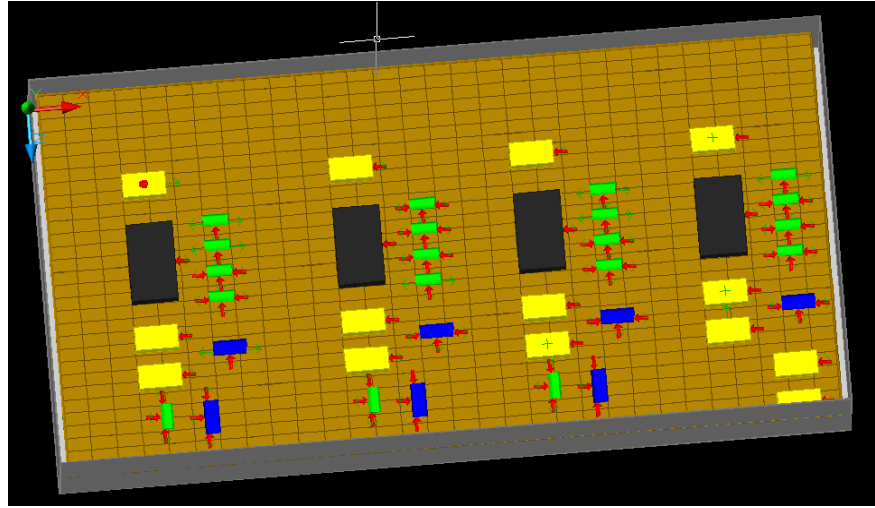


Рисунок 15 – Зображення плати в корпусі

Додаток Б  
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ**  
**МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ**  
**ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ**

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Мікроелектронний пристрій для контролю октанового числа бензину»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

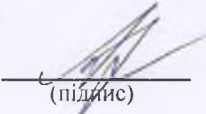
Підрозділ кафедра ІРТС  
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

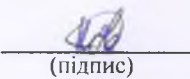
Оригінальність 88,6% Схожість 11,4%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Звягін О.С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи  Ковальчук Я.С.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Семенов А.О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)