

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

Пояснювальна записка

до бакалаврської дипломної роботи
бакалавр

на тему: Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах

Виконав: студент 4 курсу, групи БМІ-186
спеціальності 163 – Біомедична інженерія

_____ Кузнєцов Павло
Генадійович

Керівник: доц. каф. БМІОЕС, к.т.н.

_____ Коваль Л.Г.

Рецензент: _____

Допущено до захисту
Зав. кафедри БМІОЕС
Коваль Л. Г.

« ____ » _____ 2022 р.

Вінниця - 2022

Вінницький національний технічний університет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМІОЕС
_____ Коваль Л.Г.
“ ____ ” _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кузнєцову Павлу Геннадійовичу

1. Тема роботи «Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах», керівник роботи Коваль Леонід Григорович, к.т.н., доцент каф. БМІОЕС, затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” березня 2022 року № 66.
2. Строк подання студентом роботи 10.06.2022.
3. Вихідні дані до проекту: схема електрична принципова, габаритні розміри: 120×120×40; маса 250 г; напруга живлення 5В; споживана потужність 10 Вт; струм живлення 0.1А; робоча температура від 0 до +40°C.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналітичний огляд питання, конструкторський розділ, компонування приладу, розробка програмного забезпечення; охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема електрична принципова, робочий кресленик друкованої плати, складальний кресленик друкованого вузла.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Коваль Л. Г. доцент кафедри БМІОЕС		
Охорона праці	Дембіцька С.В., к.п.н., професор кафедри БЖ та ПБ		

7. Дата видачі завдання: 25 березня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	До 08.03.2022	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	До 30.04.2022	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	До 15.05.2022	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 25.05.2022	
5	Попередній захист БДР	10.06.2022	
6	Нормоконтроль БДР	10.06.2022	
7	Рецензування БДР	21.06.2022	
8	Захист БДР	22.06.2022	

Студент _____ Кузнецов П.Г.

Керівник роботи _____ Коваль Л.Г.

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській дипломній роботі розробляється іонометр, що призначений для вимірювання параметрів водних розчинів.

В теоретичній частині наведено розробку структурної схеми пристрою, зроблено вибір елементної бази. В технічній частині зроблені електричні розрахунки та моделювання окремих блоків пристрою, розглянуто технологію складання пристрою.

Також розроблено технічний аналіз умов праці на виробництві та наведено рекомендації щодо безпеки життєдіяльності.

ABSTRACT

In the given bachelor degree work the ion-meter for measuring of parameters of the water solutions is designed.

In an idealized part the mining of the skeleton diagram of the device is represented, the selection of element base is conducted. In a technical part the electrical calculations and simulation of separate units of the device are made, the technology of gathering of the device is represented.

A technical analysis of working conditions at the factory was also developed and recommendations on life safety were given.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПИТАННЯ.....	6
1.1 Основні поняття про вимірювання рН.....	7
1.2 Методи визначення рН	7
1.3 Методи та засоби для вимірювання концентрації водневих іонів.....	8
1.4 Іонометрія	14
2. АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ ДІЇ ІОНОМЕТРА.....	17
2.1 Аналіз схеми електричної принципової	17
2.2 Аналіз аналогічних конструкцій	18
3. АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ПРИСТРОЮ	19
4. КОМПОНУВАННЯ ПРИСТРОЮ	21
4.1 Загальні відомості та завдання компонування.....	21
4.2 Розробка різних варіантів конструкції та їх аналіз.....	22
4.3 Визначення габаритних розмірів пристрою	23
4.4 Визначення маси пристрою	25
4.5 Розрахунок надійності пристрою	26
4.6 Визначення орієнтовної собівартості варіантів конструкції	29
4.7 Вибір оптимального варіанту конструкції	30
4.8 Розробка конструкції друкованої плати	31
4.8.1 Вибір типу друкованої плати	31
4.8.2 Вибір класу точності друкованої плати	31
4.8.3 Вибір матеріалу друкованої плати	31
4.8.4 Розрахунок діаметрів контактних площадок	32
4.8.5 Розрахунок ширини провідників	33
4.8.6 Трасування друкованої плати	34
4.8.7 Розрахунок плати на вібростійкість	35
4.8.8 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати	36
5. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ.....	38
5.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик	38
5.2 Розробка технології складання пристрою	40
5.2.1 Технологічний процес виготовлення друкованої плати	41
5.2.2 Технологія монтажу елементів на друкованій платі	42
5.2.3 Технологія складання пристрою	43
5.3 Оптимізація пристрою	43
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	44
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	44
6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця	44
6.1.2 Електробезпека приміщення.....	46
6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	46
6.2.1 Мікроклімат	46
6.2.2. Склад повітря робочої зони.....	47
6.2.3 Виробниче освітлення	47

6.2.4 Виробничий шум та вібрації	48
6.2.5. Виробничі випромінювання.....	49
6.3. Пожежна безпека.....	50
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
Додаток А. Технічне завдання	56
Додаток Б. Схема електрична принципова.....	57
Додаток В. Перелік елементів.....	58
Додаток Г. Робочий кресленик друкованої плати	59
Додаток Д. Складальний кресленик друкованої плати	60
Додаток Е. Специфікація.....	61

ВСТУП

В дослідницьких лабораторіях під час аналізу води та водних розчинів виникає необхідність мати універсальний прилад, за допомогою якого можна отримати ряд характеристик досліджуваної рідини з якомога меншими затратами часу. Використання цілого набору вимірювальних приладів призводить до того, що результати вимірювань спотворюються, адже кожен із приладів має свої похибки вимірювань. А ось універсальний прилад дозволяє отримати набагато кращі характеристики. Пов'язано це з тим, що аналізатор таких пристроїв враховує похибку кожної із шкал, і результат, що виводиться на індикатор, найбільш близький до реального.

Саме таким універсальним пристроєм для аналізу водяних розчинів і є іонометр, одна із конструкцій якого розглядається в даному проекті.

Основні частини іонометра – вимірювальні електроди, пристрій обробки інформації та пристрій виведення результатів обчислень.

Електроди – найбільш чутливі частини пристрою, і саме їх характеристики і визначають похибку вимірювань. В даному іонометрі використовуються надзвичайно чутливі комбіновані іоноселективні електроди ЕСКЛ-08, що дозволяє значно розширити ряд вимірюваних параметрів розчинів. Раніше застосовували електроди, які давали похибку вимірювання іноді до 40 %, що зводило нанівець кропітку роботу дослідника, суттєво спотворюючи результат. Проте нові електроди позбавлені такого недоліку.

Стосовно пристрою обробки інформації, то існує кілька способів вирішити цю задачу. Проте застосування мікроконтролерів призвело до справжньої революції в радіоелектроніці; пристрої на мікроконтролерах стали і на порядок швидшими в розрахунках, аніж на елементарній логіці, і набагато меншими за габаритами, адже щільність монтажу зменшилась.

Хоча для мікроконтролерів необхідно додатково створювати програму, яка прошивається в нього і тільки тоді цей прилад стає придатним до експлуатації. Однак достатньо тільки написати програму під певний мікроконтролер, запрограмувати його і вставити у відповідну панель на платі – і прилад потребуватиме тільки калібрування вимірюваних параметрів. Тому в даному іонометрі як пристрій обробки, так і перетворення інформації для виведення її на індикаторну панель, використовується ПІС-контролер, які стали серцем вимірювальної апаратури в останній час. Перевага ПІС-контролерів – їх простота в користуванні, порівняно менша вартість та велика надійність.

Стосовно пристрою індикації, то раніше в іонометрах застосовувалися навіть стрілкові індикатори, адже цифрові пристрої відображення інформації з'явилися тільки 20 років тому. Якщо не брати до уваги газорозрядні індикатори, то спершу популярними стали люмінесцентні індикатори, на базі яких випускали і мікрокалькулятори, і перші малогабаритні цифрові вимірювальні прилади. Однак згодом з'явилися напівпровідникові індикатори, в яких як сегменти цифр використовувалися напівпровідникові випромінювальні діоди. А потім настала черга і найбільш поширених в даний

час індикаторів – матричних та рідкокристалічних.

Матричні індикатори, завдяки порівняно невисокій вартості та великій функціональності, застосовуються найчастіше там, де інформація для відображення виводиться в кілька рядків. Тому в даному іонометрі й використано матричний індикатор.

Таким чином, іонометр пройшов за два десятки років шлях від простого індикатора активності розчину до багатофункціонального пристрою, що здатний аналізувати питну, природну, очищену стічну та інші типи вод або водних розчинів, екстракти, витяжки, фільтрати тощо, одержувані з різних матеріалів, реактивів і продуктів за методиками кількісного хімічного аналізу (МКХА), подаючи результат обчислень у зручному для сприйняття вигляді.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПИТАННЯ

Потенціометрія складається з двох великих і рівноправних розділів - іонометри і редоксметрія. Перша займається моніторингом концентрації (активності) іонів, друга працює з редокс-потенціалами, що характеризують концентрацію і співвідношення окисненої і відновленої форм.

Індикаторний електрод слід підбирати в кожному конкретному випадку. Як приклад будемо розглядати рН-метричний скляний електрод. Тут критеріями вибору можуть бути не тільки робоча область за рН і температурі, але і електричний опір, внутрішнє заповнення, координати ізопотенціальної точки. Вибір електрода по діапазону рН і температури очевидний і коментарям не підлягає. Якщо ви хочете виміряти рН один-два рази на інші поради уваги можете не звертати, інша справа, якщо вам хочеться комфортної і по можливості точної роботи.

Електрод порівняння. рН-метричні (або скляні у загальному випадку) електроди бувають високоомні (до 500-700 МОм) та низькоомних (від 10-20 МОм). Для роботи з високоомним електродами вам необхідний вимірювальний прилад з високоомним входом. Сьогодні практично всі рН-метри і іонометри дозволяють працювати з такими електродами. Але якщо у вас цифрові вольтметри, то тут вам, імовірно, може стати в нагоді або спеціальний підсилювач, або підключення якого-небудь нехай навіть старенького іонометри, як такого підсилювача. Кабель від перемикача йде на високоомний вхід підсилювача, а його вихідний канал з'єднується з вимірювальним приладом.

При виборі електрода (пр. рН-метричного) за його внутрішньою будовою можна додати тільки те, що якщо ви плануєте застосовувати його в звичайних температурних умовах, то великої різниці в тому, який внутрішній електрод вибрати, хлорсеребряного, каломельного або хлорталлієвий, немає. Але якщо температура у вас буде часто мінятися в межах 60-70 градусів, то краще використовувати хлорталлієвий внутрішній електрод (якщо зможете його розпізнати в електроді). Ця рекомендація заснована на явищі температурного гістерезису - при нагріванні електрода і його подальшому охолодженні повернення до вихідної ерс не відбувається або відбувається вкрай повільно (години). Ці розходження можуть досягати декількох мілівольт. Для хлорталлієвого електрода такий гістерезис незначний.

Застосування сольового містка зазвичай переслідує дві мети: зробити гальванічний елемент без переносу і, отже, зменшити (елімінувати) потенціал рідинного з'єднання (тільки не питаєте що це - візьміть підручник і т.д.) і відокремити електрод порівняння від тієї, за розчину; це буває необхідно, якщо робочий розчин і внутрішній розчин електрода порівняння не сумісні. Наприклад: у вас насичений хлорсрібного електрод порівняння і досліджуваний розчин солей срібла. Якщо ви в такий розчин опустить електрод порівняння без містка, то через хвилин 10 помітите, що всі розладналося.

1.1 Основні поняття про вимірювання рН

Для безлічі хімічних і біохімічних процесів важливим є контроль такого параметру, як водневий показник або **pH**. Цей показник є величиною, що відображає активність іонів водню, тобто ступінь кислотності (або лужності) вимірюваного розчину. Кислотність середовища має важливе значення для хімічних і біологічних процесів, оскільки можливість перебігу або ж напрям тієї чи іншої реакції часто залежить від рН середовища. Також водневий показник рН широко використовується для характеристики кислотно-основних властивостей різних біологічних середовищ.

У водних розчинах активність іонів водню визначається константою дисоціації води ($K_w = 1.011 \times 10^{-14}$ при 25 °C) та взаємодією з іншими іонами в розчині. Завдяки такому значенню константи дисоціації нейтральний розчин (де активність іонів водню дорівнює активності гідроксильних груп OH^-) має значення рН, що дорівнює 7. Водні розчини із значенням рН, меншим ніж 7, вважаються кислотними, із значенням рН більшим 7 — лужними.

Формула для обчислення величини рН (що не має одиниць розмірності) є наступною:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$$

1.2 Методи визначення рН

Для визначення значення рН розчинів широко використовують кілька методик. Водневий показник можна приблизно оцінювати з допомогою індикаторів, точно вимірювати рН-метром або визначати аналітично шляхом проведення кислотно-основного титрування.

1. Для грубої оцінки концентрації водневих іонів широко використовуються кислотно-основні індикатори – органічні речовини-барвники, колір яких залежить від рН середовища. До найбільш відомих індикаторів належать лакмус, фенолфталеїн, метиловий оранжевий (метилоранж) та інші. Індикатори здатні існувати в двох по-різному пофарбованих формах або в кислотній, або в основній. Зміна кольору кожного індикатора відбувається в своєму інтервалі кислотності, зазвичай становить 1-2 одиниці.

2. Для розширення робочого інтервалу вимірювання рН використовують так званий універсальний індикатор, що представляє собою суміш з кількох індикаторів. Універсальний індикатор послідовно змінює колір з червоного через жовтий, зелений, синій до фіолетового при переході з кислотої області в лужну. Визначення рН індикаторним методом ускладнено для каламутних або забарвлених розчинів.

3. Використання спеціального приладу рН-метра дозволяє вимірювати рН в більш широкому діапазоні і більш точно (до 0,01 одиниці рН), ніж за допомогою індикаторів. Іонометричний метод визначення рН ґрунтується на вимірюванні мілівольтметром-іонометром ЕРС гальванічного ланцюга, що

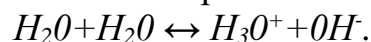
включає спеціальний скляний електрод, потенціал якого залежить від концентрації іонів H^+ в навколишньому розчині. Спосіб відрізняється зручністю і високою точністю, особливо після калібрування індикаторного електрода в обраному діапазоні рН, дозволяє вимірювати рН непрозорих і кольорових розчинів і тому широко використовується.

4. Аналітичний об'ємний метод - кислотно-основне титрування - також дає точні результати визначення кислотності розчинів. Розчин відомої концентрації (титрант) по краплях додається до досліджуваного розчину. При їх змішуванні протікає хімічна реакція. Точка еквівалентності - момент, коли титранту точно вистачає, щоб повністю завершити реакцію, - фіксується за допомогою індикатора. Далі, знаючи концентрацію і об'єм доданого розчину титранту, обчислюється кислотність розчину.

1.3 Методи та засоби для вимірювання концентрації водневих іонів, рН-метрія

В практиці аналізу розчинів значне місце займають потенціометричні методи вибіркового вимірювання активної концентрації певних йонів. Потенціометричний метод базується на використанні закону Нернста, що встановлює залежність електродного потенціалу від активної концентрації відповідних йонів у розчині.

Принцип дії гальванічних перетворювачів рН-метрів базується на залежності електродних потенціалів від активності водневих йонів, за якою можна визначити властивості, зокрема концентрацію водних розчинів. Суть цього способу така. Навіть найчистіша вода має деяку діелектричну провідність, зумовлену наявністю в ній деякої кількості йонів, які виникають у результаті реакції, яка називається автопротолизом



Суть його полягає в переміщенні йонів водню H^+ від одних молекул води до інших. Отже, у водневих розчинах та й у чистій воді вільних йонів H^+ немає, а є гідратовані йони гідроксонію H_3O^+ . Однак, для спрощення, дисоціацію подають як



тобто вважають, що молекули води частково дисоціюють на йони водню H^+ та йони гідроксилу OH^- .

Для дистильованої води та нейтральних розчинів активність a_{H^+} йонів водню дорівнює активності a_{OH^-} йонів гідроксилу, для водних розчинів кислот $a_{H^+} > a_{OH^-}$ і тим більша, чим більша концентрація, а для водних розчинів лугів $a_{H^+} < a_{OH^-}$ і зменшується у міру збільшення концентрації. Водночас для даної температури добуток цих активностей завжди залишається постійним як для води, так і для водних розчинів кислот і лугів, і характеризується так званім йонним добутком води:

$$K_{H_2O} = a_{H^+} a_{OH^-}.$$

Встановлено, що при нормальній температурі (20 °C) йонний добуток води

$K_{H_2O} = 10^{-14}$ (г-йон/л). У чистій воді або в нейтральному розчині активність йонів H^+ та OH^- однакова, тобто

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{K_{H_2O}} = 10^{-7} \text{ г-йон/л.}$$

Йонний добуток води $K_{H_2O} = a_{H^+} a_{OH^-}$ при даній температурі залишається сталим також і для будь-якого водного розчину, зокрема для розчинів кислот із залишком йонів H^+ або основ із надлишком йонів OH^- . В цей же час йонний добуток води є деякою функцією температури, зокрема при $t=0^\circ C$ $K_{H_2O} = 10^{-15}$ г-йон/л., а при $t=50^\circ C$ $K_{H_2O} = 10^{-13.2}$ г-йон/л. Відповідно до температури змінюється також концентрація водневих йонів, а отже для однозначного визначення pH необхідно знати температуру розчину.

Отже, при $K_{H_2O} = const$ для оцінки властивостей водних розчинів достатньо виміряти, наприклад, активність водневих йонів. На практиці для зручності обчислень активність водневих йонів характеризують водневим показником pH , який визначається як від'ємний логарифм активності йонів водню:

$$pH = -\lg(a_{H^+}) = -\lg(f_{H^+} c_{H^+}).$$

Показник pH для водних розчинів при нормальній температурі змінюється від 0 для сильно концентрованих водних розчинів кислот до 14 одиниць для концентрованих водних розчинів лугів. У розчинах неводних розчинників показник pH залежно від концентрації буде змінюватися в інших межах, наприклад, в аміаку 0..32,7 од.

Принцип побудови шкали pH пояснює рисунок 1.1.

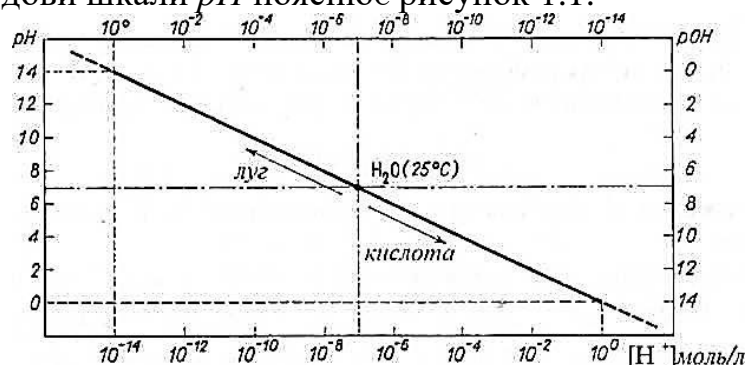


Рисунок 1.1 – Принцип побудови шкали pH

Прилад, призначений для вимірювання pH , називають pH -метром. Найточніший і найуніверсальніший метод вимірювань pH базується на визначенні електродних потенціалів різних електродів, розміщених в досліджуваному розчині. Гальванічні перетворювачі pH -метрів складаються з двох напівелементів: скляного вимірювального, електродний потенціал якого є функцією pH_x досліджуваного розчину та допоміжного, електродний потенціал якого відомий і не залежить від властивостей досліджуваного розчину.

Скляний вимірювальний напівелемент (рис. 2,а) - це тонкостінна (0,05...0,1 мм) колба 2, нижня сферична частина 1 якої виготовлена із спеціального мембранного скла і заповнена так званим буферним розчином, тобто розчином із відомим значенням pH_0 . В середині колби розміщений хлорсрібний допоміжний електрод 3 (платиновий стержень, покритий шаром хлористого

срібла). При зануренні такого скляного напівелемента в досліджуваний розчин на зовнішній стінці колби на межі складосліджуваній розчин виникає електродний потенціал e_1 , значення якого є функцією pH_x . Це пояснюється процесами йонного обміну. Лужні йони скла (натрій чи літій) переходять у розчин, а їх місця займають рухливіші йони водню із розчину. Внаслідок цього поверхневий шар скла буде насиченим водневими йонами, а скляний електрод набуде властивостей водневого електрода. Водночас на внутрішній стінці колби виникає електродний потенціал e_2 , значення якого зумовлене властивостями буферного розчину, не залежить від pH_x і є незмінним при незмінній температурі. Ще один електродний потенціал e_3 , незалежний від pH_x , виникає на хлорсрібному електроді. Результируючий електродний потенціал e_x вимірювального напівелемента дорівнюватиме алгебричній сумі трьох вищезгаданих електродних потенціалів і міститиме складову $e_0=e_2+e_3$, незалежну від pH_x , та складову e_1 , що є функцією вимірюваної величини pH_x :

$$e_x = e_0 + e_1 = e_0 + e_{pH} pH_x,$$

де e_0 - електродний потенціал вимірювального напівелемента при $pH_x = 0$;

e_{pH} - коефіцієнт, значення якого зумовлене параметрами вимірювального напівелемента (питома ЕРС електрода, mV/pH).

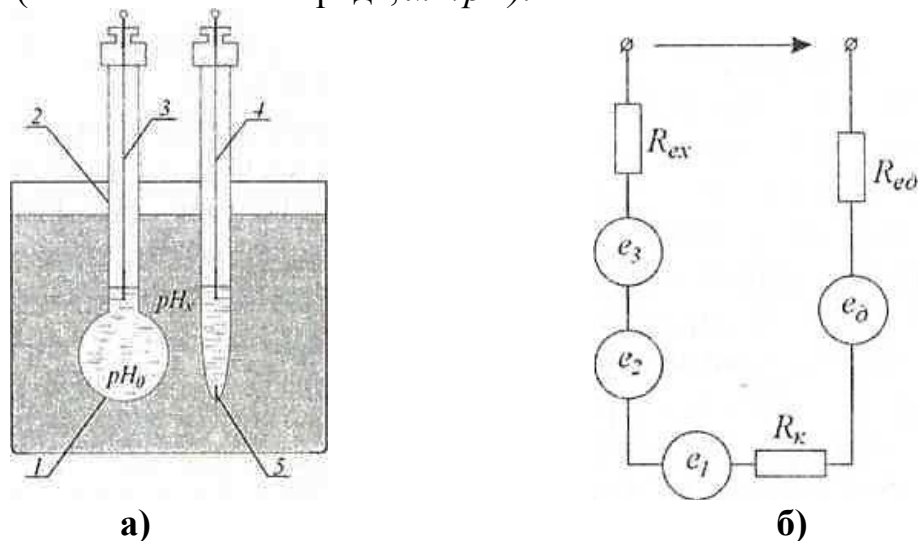


Рисунок 1.2 – Будова гальванічного перетворювача рН-метра та еквівалентна електрична схема

Шар скла між обома поверхнями колби є, по суті, провідником з великим електричним опором ($R_M = 10^6 \dots 10^9$ Ом) (рисунок 2,б), який з'єднує електрично два джерела ЕРС, а саме e_1 та e_0 .

Як допоміжний може бути використаний розглянутий вище водневий напівелемент. Але його практичне застосування обмежене через необхідність безперервного насичення воднем. Тому на практиці використовують звичайно так звані хлор срібні чи інші напівелементи.

Допоміжний хлор срібний напівелемент (електрод) – це товстостінний скляний корпус, всередині якого знаходиться срібний електрод 4, поміщений в 3,5 н. розчин КС1. Дифузійний потенціал на поверхні розділювальної мембрани досягає до 10 мВ. Загальний опір електрода не перевищує 20 $k\Omega$.

Допоміжний напівелемент може бути розміщений в досліджуваному розчині чи за його межами, але в обох випадках з'єднаний з досліджуваним розчином за допомогою відповідно розділювальної мембрани чи електролітичного ключа. На рис. 2, а допоміжний напівелемент поміщений в досліджуваний розчин і електрично з'єднаний з ним за допомогою електролітичного ключа 5. Еквівалентна електрична схема такого гальванічного перетворювача наведена на рис. 2,б. Тут e_x і e_d – відповідно електродні потенціали вимірювального та допоміжного напівелементів, R_{ex} та R_{ed} – відповідно повні опори вимірювального та допоміжного електродів; R_k – опір електролітичного ключа.

Вихідною величиною такого гальванічного перетворювача буде різниця електродних потенціалів

$$E = e_x - e_d = e_0 - e_d + e_{pH} = E_0 + e_{pH}$$

Основними складовими похибками pH -метрів є температурна похибка, а також дифузійні потенціали. Для зменшення температурної похибки застосовують електричні кола температурної корекції, а для зменшення дифузійних потенціалів – з'єднання напівелементів через електролітичний ключ.

Вибір системи електродів для первинного перетворювача pH -метра, їх конструктивне оформлення та технічні характеристики визначаються умовами експлуатації, діапазоном вимірювання, необхідною точністю. Для промислових pH -метрів електродна система забезпечується додатковою захисною арматурою для захисту від механічних впливів та для кріплення до досліджуваного об'єкта.

Основними складовими похибки первинних перетворювачів pH -метрів є лужна, дифузійна та температурна похибки. Лужна похибка виникає у лужних середовищах у зв'язку з процесами іонного обміну лужних елементів, тобто переходу лужних іонів (натрію чи літію) із мембранного скла скляного електрода в досліджуваний розчин. Лужна похибка знижує значення вимірюваного pH і функціонально залежить як від значення pH , так і від концентрації лужних іонів натрію (чи літію). Одним з основних способів зменшення лужної похибки є розроблення спеціального мембранного скла. Треба також відзначити, що лужна похибка різко зменшується з підвищенням температури.

При вимірюванні pH проточних розчинів у результаті утворення дифузійного потенціалу, що формується на діафрагмі електрода порівняння, виникає так звана дифузійна похибка. Використання в електроді порівняння концентрованих розчинів електролітів з приблизно однаковою рухливістю аніонів і катіонів при дослідженні досить розведених розчинів (з концентрацією менше ніж 0,1 моль/л) дифузійний потенціал не перевищує $\pm(0,2...0,3)$ мВ. Для сильноконцентрованих розчинів дифузійний потенціал може досягати до 10 мВ при корисній ЕРС в сотні мілівольт. Для зменшення дифузійних потенціалів допоміжний електрод з'єднують з досліджуваним розчином за допомогою електролітичного ключа, заповненого насиченим

розчином КС1, на границях з яким дифузійні потенціали не перевищують 1...2мВ.

Але найбільшою складовою похибки електродної системи рН-метра є температурна похибка, зумовлена залежністю електродних потенціалів вимірювального електрода при незмінному значенні рН від температури. Від температури залежить як складова $e_x = e_{pH} pH$, так і складова e_0 (і в результаті і E_0), а результуючу ЕРС E_t гальванічного перетворювача при температурі t можна записати у вигляді:

$$E_t = E_0 (1 + \alpha_e \Delta t) + e_{pH} (1 + \alpha_{pH} \Delta t) pH,$$

де α_e та α_{pH} - температурні коефіцієнти відповідних електродних потенціалів, Δt - відхилення температури від номінального значення.

При дослідженнях розчинів з високим рН температурна похибка може досягати до 10 %, тому в засобах вимірювань рН необхідно передбачити компенсацію цієї похибки. Але перш ніж перейти до вимірювальних кіл рН-метрів відзначимо одну особливість температурної залежності ЕРС, а саме, що при певному значенні pH_i для заданого перетворювача температурна похибка відсутня, тобто

$$E_t = E_0 (1 + \alpha_e \Delta t) + e_{pH} (1 + \alpha_{pH} \Delta t) pH_i = E_0 + e_{pH} pH_i,$$

Звідки

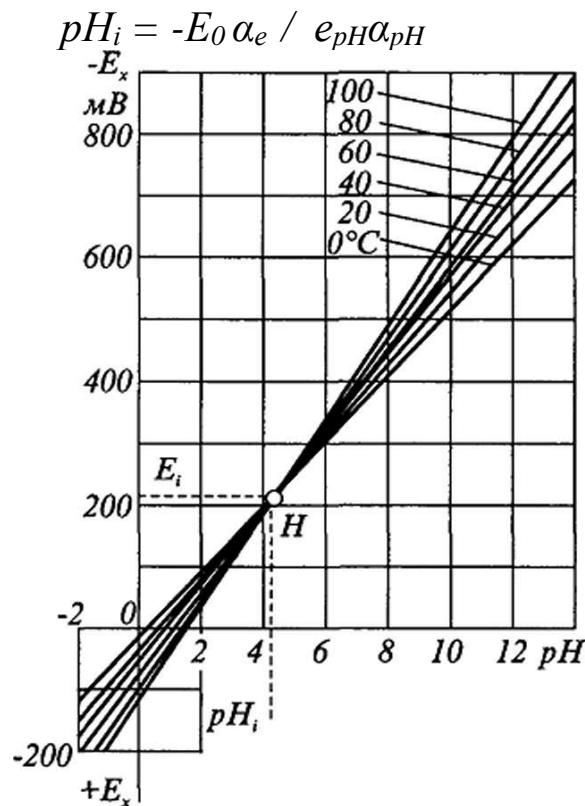


Рисунок 1.3 – Залежність ЕРС гальванічного перетворювача т.Н.02 від рН та температури

На рисунку 1.3 наведені графіки залежності ЕРС гальванічного перетворювача т. Н.02 від рН при різних значеннях температури у вигляді сім'ї

прямих (ізотерм), що перетинаються в одній, так званій ізопотенціальній точці *A*. Координати ізопотенціальної точки (pH_i , E_i) залежать від характеру електродів і звичайно визначаються експериментально. Для гальванічного перетворювача т.Н.02 $E_i = -203$ мВ, $pH_i = -4,13$ од.

При створенні *pH*-метрів необхідно враховувати температурну залежність електродних потенціалів (при незмінному *pH*) і передбачити температурну компенсацію. Як видно з останнього виразу для $E_t = f(pH)$, така компенсація (корекція) можлива за допомогою двох термозалежних опорів.

Якщо ж врахувати вигляд залежностей $E_t = f(pH)$ при різних значеннях температури (рис.1.3) і прийняти за початок координат точку (E_i ; pH_i) перетину ізотерм, то функція перетворення електродної системи набере вигляд:

$$E_x = E_i - e_{pH} (pH - pH_i),$$

а з врахуванням температурної залежності:

$$E_{xt} = E_i - e_{pH} (pH - pH_i) (1 + \alpha_e \Delta t)$$

Як впливає з останнього виразу, температурну компенсацію можна в невеликому інтервалі зміни температур здійснити за допомогою одного термозалежного опору.

Принципова схема *pH*-метра зрівноважувального перетворення з автоматичною корекцією температурної залежності та ручним введенням поправок, що відповідають значенням координат ізопотенціальної точки, наведена на рисунку 4.

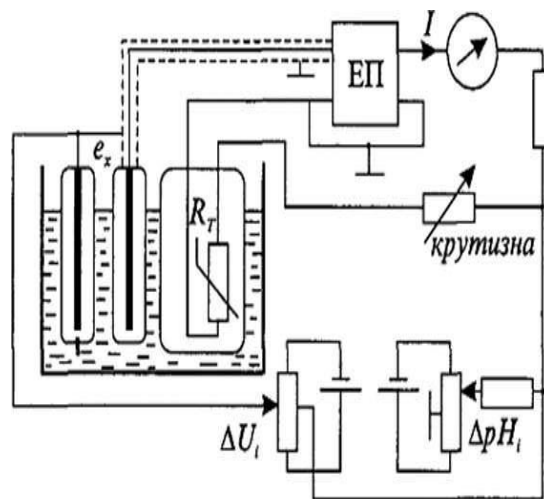


Рисунок 1.4 – Принципова схема *pH*-метра з корекцією

ЕРС гальванічного перетворення надходить на вхід підсилювача, охопленого глибоким від'ємним зворотним зв'язком, і порівнюється з компенсуючою напругою, значення якої визначається струмом I та параметрами коректувальних елементів кола зворотного зв'язку. При достатньо великому коефіцієнті підсилення електронного підсилювача значення вихідного струму I буде пропорційним ЕРС E_x , а отже, буде мірою вимірюваного *pH*. [1]

1.4 Іонометрія

Іонометрія – це вибіркове вимірювання концентрації іонів певних хімічних елементів у розчинах.

Аналогічно, як і концентрацію іонів водню, активну концентрацію іонів інших хімічних елементів оцінюють від'ємним логарифмом активності цих іонів, тобто показником pM (тут M – хімічний елемент, концентрацію іонів якого вимірюють).

Розвиток іонометрії, який почався понад 10 років тому, привів до створення нового виду електродних сенсорів - іоноселективних електродів (ІСЕ). І якщо початковий етап розвитку іонометрії був пов'язаний з інтенсивним пошуком нових електродних матеріалів і нових конструкцій, то згодом основна увага приділялась глибокому вивченню іонної селективності, механізму електродних реакцій, розширенню практичного використання іонних сенсорів, особливо в клінічній практиці та при дослідженні довкілля.

Поява нових аналітичних методів, заснованих на використанні ІСЕ, пояснюється широкими можливостями цих сенсорів при дослідженні активності іонів натрія, калія, кальція, фторид-, хлорид-, нітрат- та сульфідіонів. ІСЕ можуть використовуватися при дослідженні органічних сполук, таких, як амігдалін, холестерин, сечовина та ін., а також при визначенні концентрації розчинних газів, наприклад, аміаку, оксидів азоту, діоксиду вуглецю.

Іонометрія відрізняється від інших методів фізико-хімічних досліджень відносною простотою, а завдяки портативним варіантам ІСЕ та спеціальній іонометричній апаратурі дослідження можна проводити не лише в лабораторних умовах, але і на підприємствах, в клініках, зокрема для післяопераційного контролю рН, рNa, рК - показників крові.

Отже, використання ІСЕ у різних галузях діяльності стає дедалі вагомішим. На жаль, в Україні такі прилади не випускаються, хоча для цього є відповідна науково-теоретична база, створена відомим вченим Б.П. Нікольським.

Оскільки основними вимірювальними елементами в іонометрії є іоноселективні електроди, зупинимось на їх сучасному стані та можливостях використання в іонометрії.

Іоноселективний електрод - це електрохімічний перетворювач, призначений для потенціометричного визначення активності певних іонів, здебільшого у водних розчинах, а в окремих випадках і у неводних середовищах (в останньому випадку є необхідність введення так званого індеферентного електроліта).

Типова електродна система іонометра складається з вимірювального ІСЕ та електрода порівняння (рис. 1.5).

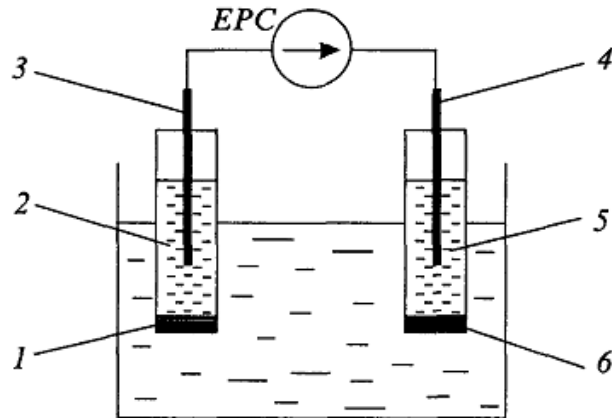


Рисунок 1.5 – Типова електродна система

Вимірювальний іоноселективний електрод - це гальванічний перетворювач (напівелемент), що складається з іоноселективної мембрани 1, внутрішнього контактної розчину 2 (або твердого контакту - повністю твердофазна конструкція) та внутрішнього вимірювального електрода 3. Другий напівелемент утворений зовнішнім електродом порівняння 4, що занурений в стандартний електроліт (сольовий місток) 5, який контактує з досліджуванним розчином через діафрагму 6.

ISE можна класифікувати згідно з природою електродноактивного матеріалу мембрани на такі типи:

- електроди з твердою мембраною, для виготовлення яких використовуються кристалічні матеріали;
- скляні мембранні електроди, виготовлені з літійового, алюмосилікатного або багатокомпонентного скла;
- електроди на основі рідких іоннообмінників, мембрана яких складається з не змішуваної з водою органічної фази; вона містить рухомі іони або іонні сполуки (основи, солі, гідрофобні кислоти);
- електроди з рідкими мембранами на основі нейтральних носіїв; мембрана є електронейтральним розчином специфічних комплексоутворюючих реагентів (іонофорів), які утворюються в інертній полімерній матриці;
- іоноселективні польові транзистори, які є гібридними пристроями, що містять іоноселективний електрод і польовий транзистор на основі системи метал-оксид металу (МОПТ).

Значний успіх використання транзисторного ISE дає поштовх у напрямку розвитку дешевої технології і ставить нові й цікаві запитання перед теорією ISE, яка ще далеко не закінчила свій розвиток.

Очевидно, що ЕРС електродної системи

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) + E_j + E_M$$

Існування так званого потенціалу рідинного стану E_j приводить до певного зміщення електродної функції іоноселективної мембрани. У практиці іонометрії вибирають таку комбінацію електродів, для якої $E_j = 0$. Тоді

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) + E_M = E_0 + E_M.$$

Типові криві потенціал - концентрація для іоноселективних вимірювальних кіл наведені на рис. 1.6.

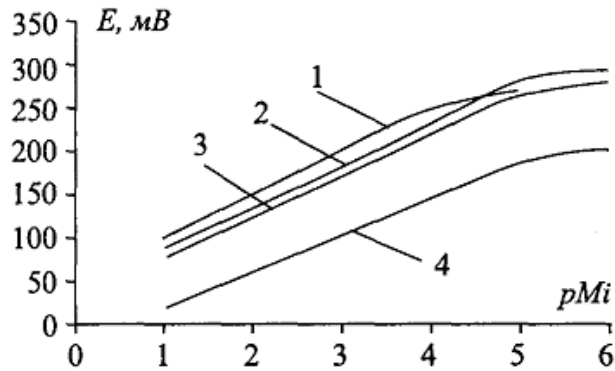


Рисунок 1.6 – Калібрувальні графіки для: 1 – натрій-; 2 – калій-; 3 – хлорид-; 4 – фторидселективних електродів американської фірми “Orion”

Очевидно, що нижня границя вимірюваних концентрацій обмежена лінійною ділянкою електродної функції. В принципі іонметри повністю аналогічні рН-метрам з високою роздільною здатністю. Прилади для вимірювань pH чи то з аналоговою чи цифровою індикацією з ціною поділки 1 мВ/под з однаковим успіхом можуть бути використані і як vpH -метрах і як іонометрах при наявності градуювальних діаграм, які складаються, використовуючи розчини з відомою концентрацією відповідних іонів [1].

2 АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ ДІЇ ІОНОМЕТРА

2.1 Аналіз схеми електричної принципової

Іонометр призначений для вимірювання показника активності (рН, рХ) і масової або молярної концентрації (С) іонів, окислювально-відновного потенціалу (Еh), температури (Т) у воді і водних середовищах. Іонометр також призначений для використання як високоомний вольтметр під час вимірювань хімічного споживання кисню (ХСК), при потенціометричному титруванні та інших потенціометричних вимірюваннях за відповідними методиками кількісного хімічного аналізу (МКХА).

Іонометр складається і набору первинних перетворювачів: вимірювального (іоноселективного, або Еh) електрода, електрода порівняння і температурного датчика.

Вторинний вимірювальний перетворювач виконаний на мікропроцесорі з автономним живленням та індикацією результатів вимірів на ЖК- дисплеї.

Пам'ять містить константи для 29 іонів (назву, молярну масу і заряд), останні результати градування по кожному виду іонів, а також три резервні комірки для введення аналогічних констант для інших іонів на вибір користувача.

Іонометр має інтерфейс RS-232 для передачі результатів вимірювань на ІВМ-сумісний комп'ютер.

Застосування зовнішніх комутаторів дозволяє, за потребою, використовувати іонометр як багатоканальний вимірювальний засіб.

Іонометр призначений для використання не тільки в медичних, а й у хіміко-технологічних, агрохімічних, екологічних і аналітичних лабораторіях підприємств, науково-дослідних установ, органів контролю, інспекції і нагляду.

Іонометр складається з перетворювача, що включає систему порівняння, вимірювальну плату і лицеву панель з цифровим дисплеєм і клавіатурою, штатива й електродної системи, що складається з вимірювального, допоміжного електрода і термокомпенсатора

Принцип дії іонометра базується на потенціометричному методі вимірювань рН і Еh контрольованого розчину. При зануренні електродів у розчин виникає ЕРС, що лінійно залежить від активності іонів і температури розчину, яка перетвориться в пропорційну за величиною напругу та в цифрове значення вимірюваного параметра, що індикується на дисплеї.

Іонометр забезпечує автоматичну обробку результатів вимірювань та індикацію у всіх відомих одиницях вимірювання.

Константи калібрувань зберігаються в пам'яті відключеного від мережі іонометра протягом 2-х тижнів.

Схема приладу виконана на 3-х РІС-контролерах, сполучених по шині І²С. Кожен контролер виконує фіксований набір функцій і може використовуватися в інших пристроях з мінімальними витратами по перепрограмуванню:

DD1 – виведення на дворядковий рідинно-кристалічний індикатор та RS-232 9600 бод;

DD2 – керування аналоговою частиною та інтерпретація команд;

DD3 – співпроцесор арифметики, що плаває та введення даних із клавіатури.

Програма керування записана в ПЗУ 24LC16.

Живлення аналогової частини (+5 В, -5 В) здійснюється від RS-232 формувача.

Перетворювач живиться від вбудованого акумулятора, що заряджається через перетворювач напруги від мережі змінного струму (220 В, 50 Гц). Напруга живлення пристрою — 12 В.

2.2 Аналіз аналогічних конструкцій

Як вже зазначалося у техніко-економічному обґрунтуванні, за аналог було обрано іонометр И-500, прилад російського виробництва.

Аналог має розміри 200×110×65 мм, вагу 1 кг. Корпус пластмасовий, сіро-блакитного кольору. В корпусі плата кріпиться за допомогою гвинтів-саморізів. Корпус із кришкою збирається за допомогою фіксатора контакту, відсік для елементів живлення має додаткову кришку. Електричні з'єднання між елементами виконані за допомогою пайки і є нероз'ємними.

Недоліком конструкції можна вважати двосторонній монтаж радіоелементів на платі, що робить складнішим процес виготовлення друкованої плати, а також знижує ремонтпридатність приладу. Стосовно дизайну аналога, то він не відзначається нічим особливим, будучи одним із численних прикладів ще радянської радіоелектронної апаратури: просто, однак надійно. Хоча важливою рисою є і надійна робота приладу, тому не слід особливу увагу звертати на дизайн; проте реклама та ефективність продажу залежить напряду саме від особливостей дизайну.

На момент розробки іонометра И-500 чутливість електродів була нижчою, аніж зараз, тому є змога підвищити точність вимірювання (зменшити похибку). Крім того, можна за допомогою програми прошивання мікроконтролера додати кілька важливих показників розчинів.

Усі вище зазначені фактори призводять до того, що постає проблема створити прилад, який ні в чому не поступається даному, але в якого були б відсутніми вище перераховані недоліки. Причому, по можливості, ввести щось нове чи функціонально розширити наявне.

Тому під час розробки нового пристрою були враховані позитивні і негативні сторони аналога та зроблені відповідні висновки. Насамперед, організовано збереження даних у флеш-пам'яті, застосовано нові вимірювальні електроди, а також внесено суттєві зміни в елементну базу пристрою.

3 АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ПРИСТРОЮ

Спершу зведемо у таблицю основні дані про радіокомпоненти, на яких побудовано пристрій – в порядку їх слідування у переліку елементів, наведеному в додатку.

Таблиця 3.1 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва елемента	Кіл., шт.	Конструктивні параметри			Допустимі умови експлуатації		
		Маса, г	Площа встанов.	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °С	Частота вібрації Гц	Лінійні прискорення g
П'єзоелектричний випромінювач							
ЗП-3	1	2	-	-	+70	2...2500	15
Конденсатори							
КМ-56	13	0,5	21	0,6	+155	15...200	7,5
К75-1а	10	0,5	21	0,7	+155	15...200	7,5
К53-16-16В	3	1	39,7	0,6	+155	15...200	7,5
Мікросхеми							
К142ЕН5	2	1	21,8	1,1	+85	10...600	7,5
DIP-8	6	0,5	71,2	0,5	+70	5...600	15
DIP-16	2	1	158	0,5	+70	5...600	15
DIP-18	3	1	180	0,5	+70	5...600	15
DIP-24	1	1,5	255	0,5	+70	5...600	15
Індикатор матричний							
BT21605	1	25	-	-	+125	10...600	10
Діод випромінюючий							
АЛ307БМ	2	0,1	-	-	+125	10...600	10
Дросель малогабаритний							
ДМ-2-0,5	2	1	60	0,7	+300	10...2000	10
Резистори							
СП3-39а	2	0,5	35	0,6	+300	10...2000	10
С2-23-0,125	35	0,15	20	0,6	+300	10...2000	10
Вимикач і кнопки							
П2К	5	1,5	-	-	+70	2...2500	15
Діоди							
КС153	3	0,3	38	0,6	+85	10...600	7,5
КД521А	9	0,1	20	0,5	+80	10...600	7,5
Транзистори							
КТ3102	3	0,2	27	0,5	+80	10...600	7,5
КТ3107	3	0,2	27	0,5	+80	10...600	7,5
Резонатор кварцовий							
РК-1м	3	0,5	30	0,5	+70	10...1000	15
Роз'єм							
ОН-ВГ-20	4	2	160	0,7	+70	2...2000	15

Якщо елемент має переріз круглий (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то площа обчислюється за формулою:

$$S = d^2 [\text{мм}^2], \quad (3.1)$$

де d – діаметр компонента.

Якщо елемент розміщений на платі горизонтально, то установочна площа:

$$S = a \cdot b, \quad (3.2)$$

де a, b – відповідно ширина і довжина установки.

Для зручності установочна площа елементів, що встановлені на копусі пристрою, у таблиці не вказується.

4. КОМПОНУВАННЯ ПРИСТРОЮ

4.1 Загальні відомості та завдання компоунання

Принципи компоунання визначають ті конструктивні типові елементи, які закладаються в основу РЕА. Вибір принципу компоунання залежить від вимог, що висуваються до конструкції РЕА і обмежень.

Компоунання – це процес вибору форм, основних геометричних розмірів, визначення орієнтовної маси і розміщення в просторі елементів, вузлів тощо, для забезпечення максимально корисного ефекту. Результатом компоунання є компоувальний ескіз.

При аналітичному методі оперують числовими значеннями різних компоувальних характеристик, такими як розміри елементів, їх маса, площа, об'єм і т.д.

Модельне компоунання найбільш розповсюджене із-за своєї простоти і наглядності. При цьому використовують плоскі (аплікації) або об'ємні моделі, виконані в вигляді спрощених креслень.

Суть методу графічного компоунання полягає в спрощеному графічному викреслюванні елементів РЕА, різних варіантів компоунання. Для цього використовують трафарети, штампи тощо.

В натурному компоунанні замість моделі використовують реальні елементи: резистори, конденсатори тощо.

Компоунання блоків РЕС розглядається в трьох аспектах:

- із врахуванням вимог зручності складання, контролю, ремонту, механічного і електричного з'єднань, при цьому враховуються передусім ергономічні вимоги.

- функціональне компоунання – розміщення і встановлення елементів на друкованих платах з урахуванням функціональних і енергетичних вимог, а також щільності компоунання і встановлення елементів, щільності топології друкованих провідників [16].

Попереднє компоунання перших двох аспектів полягає в визначенні форми і габаритних розмірів.

Функціональне компоунання проводиться з метою визначення основних розмірів друкованої плати, вибору способів проектування і виготовлення. Для проведення функціонального компоунання достатній перелік елементів. У випадку насиченого, складного компоунання, крім переліку елементів необхідна принципова електрична схема приладу, крім того, доцільно мати додаткові вказівки про особливості даної схеми.

Під час розробки конструкції приладу необхідно провести компоунання на двох рівнях:

- 1 – компоунання друкованої плати з необхідною прив'язкою груп елементів за функціональними групами, теплової сумісності з мінімізацією довжин з'єднувальних провідників;

- 2 – зовнішня компоунання приладу, з урахуванням всіх вимог. До вимог

відносять технологічність і ремонтпридатність. Тобто слід здійснити внутрішнє і зовнішнє компонування приладу з урахуванням вимог ТЗ.

4.2 Розробка різних варіантів конструкції та їх аналіз

Згідно з прийнятою класифікацією типових структур конструкцій сучасних РЕА, проєктований пристрій належить до другого рівня (ГОСТ 8865-87), тобто є пристроєм, в якому елементи 0-го структурного рівня, необхідні для виконання завершених функцій прийому, передачі або перетворення сигналів, виконані на основі базової навісної конструкції другого рівня і мають властивості конструктивної взаємозамінності.

Основою будь-якого виробу РЕА є конструкція носія, що забезпечує його конструктивну цілісність і призначена для розміщення, механічного кріплення, захисту від механічних перевантажень, від руйнівного впливу довкілля тощо. Тому на першому етапі необхідно вибрати матеріал конструкції носія та корпусу. Враховуючи умови експлуатації (лабораторний пристрій, що може також використовуватися і в побуті), вимоги до екранування (прилад є джерелом завад, оскільки в ньому присутні підсилювальні елементи) та масогабаритних показників (ми повинні отримати пристрій із мінімальним відхиленням у масогабаритних показниках від технічного завдання) як матеріал корпусу оберемо в двох випадках полістирол, а в одному – алюміній. Розглянемо кілька варіантів компонування даного пристрою.

Варіант 1. Даний варіант – із горизонтальним розміщенням друкованої плати, що прикручується до корпусу, який виготовлений з алюмінію (зображення подано на рисунку 2.1). Перевагою такої конструкції є хороший тепломасообмін у порівнянні з іншими конструкціями. Матричний індикатор, Світлодіодні індикатори та кнопки керування встановлені на кришці пристрою, а кнопка вимкнення, роз'єми – на бокову панель. Роз'єми виходять назовні, під них зроблено отвори в корпусі. П'єзоелектричний випромінювач також кріпиться до кришки пристрою. Недоліком можна вважати порівняно високу вартість алюмінію у порівнянні з іншими матеріалами. Однак, забезпечується хороше екранування пристрою, що суттєво, враховуючи те, що похибка вимірювання має бути якомога меншою. До того ж, кріплення виносних елементів на кришці пристрою дозволяє дуже легко отримати доступ до них в разі потреби в ремонті пристрою. Зваживши на кілька недоліків, внесемо деякі зміни у конструкцію – отримаємо другий варіант конструкції.

Варіант 2. В цій конструкції, яка аналогічна першій, усунуто недолік, а саме: корпус виконано із пластмаси (полістиролу), що дозволяє зменшити масу і вартість пристрою, а ще уникнено зайвих гвинтових з'єднань – кришка кріпиться до корпусу за допомогою защіпок. Хоча вартість у даного варіанту менша, масогабаритні показники також, спробуємо ще більш змінити дизайн пристрою.

Варіант 3. Третім варіантом буде аналогічний матеріал корпусу, як і в другому (полістирол), однак відмінність даної конструкції від другої в тому, що

цифрова та аналогова частини схеми змонтовані на двох окремих друкованих платах. Корпус став набагато вужчим, однак зросла висота пристрою. Крім того, розміщення деталей на кількох платах не дозволяє мати доступ до кожного з вузлів пристрою одночасно, що викликає незручності в налагодженні та ремонті пристрою.

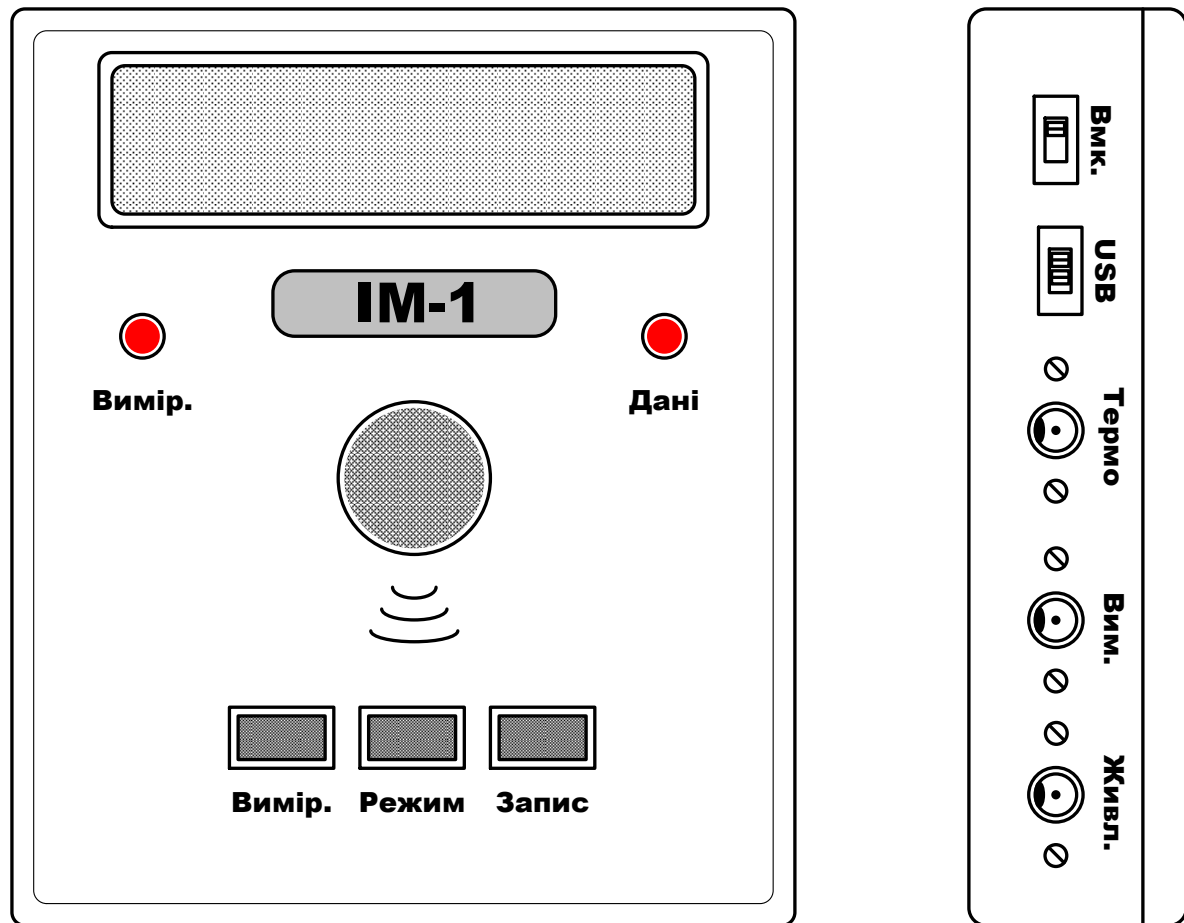


Рисунок 4.1 – Перший і другий варіанти компоновання пристрою.

4.3 Визначення габаритних розмірів пристрою

Визначаємо орієнтовні габаритні розміри плати за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст}} \cdot q, \quad (4.1)$$

де $\sum S_{\text{уст}}$ – сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі; q – коефіцієнт запасу, $q = 2 \dots 4$.

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

$$\sum S_{\text{уст}} = 992,1 + 1581,8 + 120 + 770 + 294 + 162 + 90 = 4009,9 \text{ мм}^2 \approx 40,1 \text{ см}^2$$

Маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 4010 \times (2 \dots 4) = (8020 \dots 16040) \text{ мм}^2.$$

Реальні розміри плати 140×110 мм, при цьому площа плати:

$$S_{\text{плати}} = 140 \cdot 110 = 15400 \text{ мм}^2 = 154 \text{ см}^2.$$

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів. В даному випадку у пристрої такою є мікросхема DA3:

$$h_{\text{max}} = h_{\text{DA1}} = 15 \text{ мм.}$$

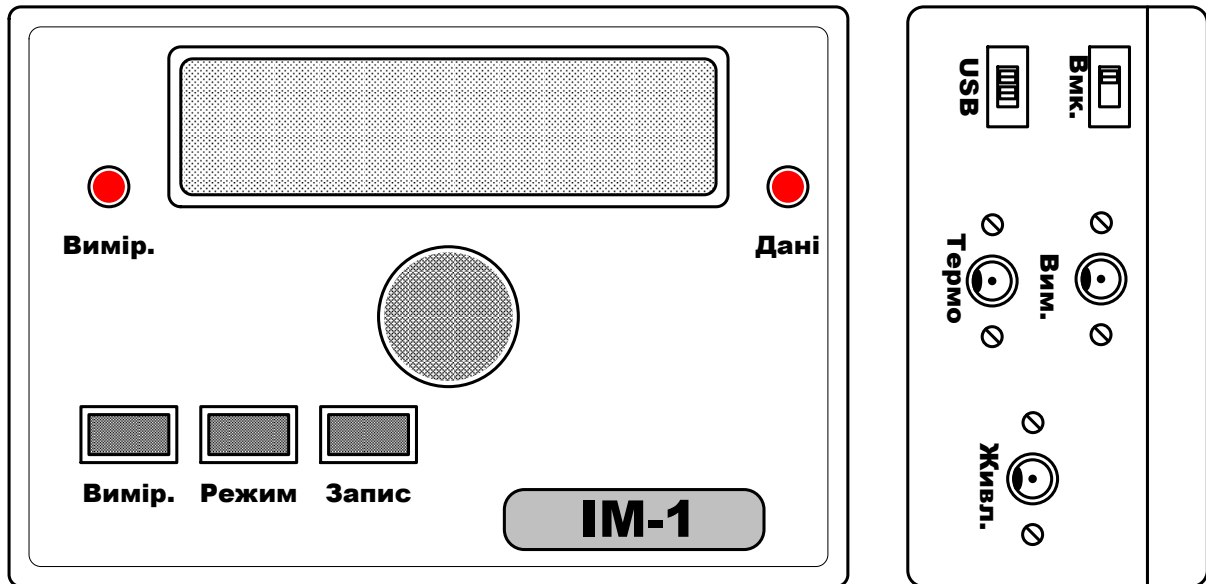


Рисунок 4.2 – Третій варіант компоновання пристрою.

Габаритні розміри приладу, скомпонованого за усіма трьома варіантами, визначаємо наступним чином: оскільки корпус пристрою матиме форму, наближену до прямокутної, створюємо об'ємну модель корпусу, зовнішні габарити якої відповідають габаритам кожного з варіантів проектування. Внутрішні ж габарити визначатимемо, враховуючи товщину стінок корпусу, а також наявність відсіку для елементів живлення.

Стосовно маси пристрою (для кожного з варіантів), то її легко визначити, помноживши корисний об'єм, який займає корпус, на густину матеріалу, з якого його виготовлено. Також слід при цьому враховувати, що в корпусі утворюються вирізи під індикатори, кнопки та роз'єми.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займають плати з радіокомпонентами (плюс певний запас), а висота – враховуючи габарити найвищого елемента на платі.

Для першого і другого варіанту матимемо наступні результати (при товщині стінок 1 мм).

Внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{max}} + 30 \text{ мм} = 15 + 33 = 48 \text{ мм};$

б) довжина $a_{\text{вн}} = 140 + 28 = 168 \text{ мм};$

в) ширина $b_{\text{вн}} = 110 + 18 = 128 \text{ мм};$

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 48 + 2 \times 1 = 50 \text{ мм};$

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 168 + 2 = 170 \text{ мм};$

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 128 + 2 = 130$ мм.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 5 \cdot 17 \cdot 13 = 1105 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V^{\text{I}}_{\text{прист}} = V^{\text{II}}_{\text{прист}} = V_{\text{корп}} = 1105 (\text{см}^3).$$

Для третього варіанту (при платах 110×60 мм):

Внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = 2h_{\text{мах}} + 2 \cdot 38 \text{ мм} = 30 + 76 = 106$ мм;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 110 + 28 = 138$ мм;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 60 + 18 = 78$ мм;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 106 + 2 \times 1 = 108$ мм;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 138 + 2 = 140$ мм;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 78 + 2 = 80$ мм.

Об'єм корпусу:

$$V^{\text{III}}_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 10,8 \cdot 14 \cdot 8 \approx 1210 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V^{\text{III}}_{\text{прист}} = V^{\text{III}}_{\text{корп}} = 1210 (\text{см}^3).$$

Отримані дані заносимо в таблицю 4.2.

4.4 Визначення маси пристрою

Знаходимо об'єм плати:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} \times h_{\text{плати}} = 154 \times 0,15 = 23,1 (\text{см}^3).$$

Знаходимо масу плати:

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \times \rho_{\text{текст}} = 23,1 \times 1,4 \approx 33 (\text{г}),$$

маса плат для третього варіанту компоунування:

$$m_{\text{пл3}} = 2V_{\text{пл}} \times \rho_{\text{текст}} = 2(11 \times 6 \times 0,15 \times 1,4) = 28 (\text{г}).$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 2.1. Маса елементів, що розміщені на платі:

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 14,5 + 9,5 + 2 + 20,7 + 1,8 + 1,2 + 1,5 = 51,2 (\text{г}),$$

а маса елементів поза платою (та гвинти для кріплення):

$$m_{\text{ел}} = 42,7 + 5 = 47,7 (\text{г}),$$

і сумарна маса елементів:

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} = 51,2 + 47,7 \approx 99 (\text{г}).$$

Маса елементів для третього і другого варіантів буде аналогічною, оскільки в ньому використовуються ті ж радіоелементи.

Маса пристрою складається із маси корпусу, плат і елементів.

Площа вирізів у корпусі:

$$\begin{aligned} S_{\text{вир}} &= S_{\text{інд.}} + S_{\text{діод}} + S_{\text{кноп.}} + S_{\text{роз.}} = \\ &= 50 \cdot 25 + 2 \cdot 5^2 + 4 \cdot 5 \cdot 10 + 4 \cdot 6^2 = 1644 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Об'єм вирізів:

$$V_{\text{вир}} = S_{\text{вир}} \cdot t_{\text{корп}} = 1644 \cdot 1 = 1644 \text{ мм}^3 = 1,644 \text{ см}^3.$$

Для першого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{КОРП}} = (V_{\text{ЗОВН}} - V_{\text{ВН}} - V_{\text{вир}}) \cdot \rho_{\text{МАТ}} = (1105 - 1032,2 - 1,64) \cdot 2,7 = 192(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m^{\text{I}}_{\text{прист}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 192 + 33 + 99 = 324 \text{ (г)}.$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{КОРП}} = (V_{\text{ЗОВН}} - V_{\text{ВН}} - V_{\text{вир}}) \cdot \rho_{\text{МАТ}} = (1105 - 1032,2 - 1,64) \cdot 1,9 = 135(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m^{\text{II}}_{\text{прист}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 135 + 33 + 99 = 267 \text{ (г)}.$$

Для третього варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{КОРП}} = (V_{\text{ЗОВН}} - V_{\text{ВН}} - V_{\text{вир}}) \cdot \rho_{\text{МАТ}} = (1210 - 1141 - 1,64) \cdot 1,9 = 126(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m^{\text{III}}_{\text{прист}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 126 + 28 + 99 = 253 \text{ (г)}.$$

Дані заносимо до таблиці 4.2.

4.5 Розрахунок надійності пристрою

Надійність є одним з основних параметрів виробу, після розрахунків якого робляться висновки про вірність вибраної схеми та конструкції виробу. Надійність приладу визначається надійністю та кількістю елементів, які використовуються, кількістю зв'язків між ними, способами кріплення елементів та видами їх з'єднань між собою, а також впливом зовнішніх факторів, теплових та електричних навантажень елементів приладу.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності складових елементів і умовами експлуатації. Вихідними показниками розрахунку надійності є інтенсивності відмов радіоелементів за нормальних умов.

Скористаємось методикою розрахунку експлуатаційної надійності згідно з [20] за допомогою математичних моделей.

В загальному випадку математична модель має вигляд:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (4.2)$$

де λ_e – експлуатаційна інтенсивність відмов, c^{-1} ;

λ_0 – інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, c^{-1} ;

K_i – складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронної апаратури сумарна інтенсивність відмов:

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{OBSL} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (4.3)$$

де K_{AM} – коефіцієнт, який залежить від амортизації електронної апаратури; за відсутності системи амортизації у виробі (як у нашому випадку) $K_{AM} = 1$;

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

λ_{ei} – експлуатаційна інтенсивність i -го типу електронної апаратури;

n – кількість типів електронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, використовується в лабораторних умовах, то коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$ [19,20], запишемо математичні моделі для кожного з елементів конструкції і обчислимо значення інтенсивностей відмов.

Для конденсаторів:

$$\lambda_E = \lambda_{OCr} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (4.4)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 5.6 [20];

K_C – коефіцієнт, що залежить від ємності конденсатора, з таблиці 2.8 [20].

Оскільки на конденсаторі максимальна напруга падає тоді, коли вона рівна напрузі живлення, то відношення U/U_H :

$$\frac{U}{U_H} = \frac{2,5}{5} = 0,5,$$

тому $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,8$ (в середньому), то матимемо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0012 \cdot 10^{-6} (zod^{-1}).$$

Для мікросхем:

$$\lambda_E = \lambda_H \cdot K_e, \quad (4.5)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (zod^{-1}).$$

Для резисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{OCr} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (4.6)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [20]; $K_P = 0,57$;

K_R – коефіцієнт, що залежить від опору резистора, з таблиці 5.7 [20], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором $1 \dots 100$ кОм). Маємо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для роз'ємів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (4.7)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

Для діодів та світлодіодів:

$$\lambda_E = \lambda_{OCГ} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (4.8)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 5.9 [20]; $K_P = 0,36$ (за коефіцієнта навантаження $0,7$);

K_Φ – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму роботи, з таблиці 3.13 [20], $K_\Phi = 1,5$;

$K_{ДН}$ – коефіцієнт, що залежить від потужності приладу, з таблиці 5.12 [20], $K_{ДН} = 0,5$ (потужність становить менше 1 Вт);

K_{S1} – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [20] $K_{S1} = 1,0$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,078 \cdot 10^{-6} (\text{с}^{-1}).$$

Для кварцових резонаторів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (4.9)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

Для транзистора:

$$\lambda_E = \lambda_{OCГ} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (4.10)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.9 [20]; $K_P = 0,36$ (за коефіцієнта навантаження $0,7$);

K_Φ – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму роботи, з таблиці 3.13 [20], $K_\Phi = 1,5$;

$K_{ДН}$ – коефіцієнт, що залежить від потужності транзистора, з таблиці 3.12 [20], $K_{ДН} = 0,5$ (потужність становить менше 1 Вт);

K_{S1} – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [20] $K_{S1} = 1,0$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,078 \cdot 10^{-6} (\text{с}^{-1}).$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елемент	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0012	26	0,0312
Мікросхеми	0,1000	12	1,2000
Резистори	0,0040	37	0,1480
Роз'єм	0,0100	4	0,0400
Індикатори	0,0780	3	0,2340
Діоди	0,0780	11	0,8580
Транзистори	0,0780	6	0,4680
Вимикач	0,3500	1	0,3500
Кнопка	0,3500	3	0,3500
Гучномовець	0,4500	1	0,4500
Кварци	0,1	3	0,3000
Акумулятор	0,500	3	1,5000
Пайка	0,0100	400	4,0000
Плата	0,5000	1	0,5000
$\lambda_{\Sigma}, \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$			10,43

Сумарна інтенсивність відмов для перших двох варіантів: 10^{-6} год

$$\sum \lambda_{1-2} = 10,43 \cdot 10^{-6} (\text{год}).$$

Сумарна інтенсивність відмов для третього варіанту (з двома платами та додатковими пайками):

$$\sum \lambda_3 = (10,43 + 0,5 + 10 \cdot 0,01) \cdot 10^{-6} = 11,03 \cdot 10^{-6} (\text{год}).$$

Надійність пристрою характеризується напрацюванням на відмову, що обчислюється за формулою (2.13):

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} (\text{год}). \quad (4.11)$$

Підставимо дані:

$$T_1 = \frac{1}{10,43 \cdot 10^{-6}} = 95877 (\text{год}).$$

$$T_2 = \frac{1}{10,43 \cdot 10^{-6}} = 95877 (\text{год}).$$

$$T_3 = \frac{1}{11,03 \cdot 10^{-6}} = 90662 (\text{год}).$$

Результати обчислень заносимо в таблицю 4.2.

4.6 Визначення орієнтовної собівартості варіантів конструкції

Основною задачею даного проекту є забезпечення мінімізації габаритів і маси нового виробу. Кращим буде той варіант рішення основної задачі проекту,

який забезпечить найменші габарити та масу нової розробки при відповідності останніх нормативним даним. Оскільки цим вимогам відповідає другий варіант конструкції, то собівартість даного варіанту ми можемо взяти за зразок для порівняння.

Оскільки у всіх трьох варіантах елементна база одна і та ж (а сумарна вартість радіоелементів становить майже 182 грн.), то ми додаємо до цієї собівартості орієнтовну вартість корпусу пристрою – це і буде собівартість для другого варіанту компонування. Для першого варіанту вона становитиме дещо більшу величину, а для третього – середнє між першим і другим варіантом.

Таким чином, ми отримали орієнтовну собівартість для трьох варіантів конструкції, значення заносимо у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристики трьох варіантів конструкції

Параметр	I	II	III
Об'єм V , см^3	1105	1105	1210
Маса m , г	324	267	253
Надійність λ , $\times 10^{-6}$ год $^{-1}$	10,43	10,43	11,03
Собівартість, грн.	210	200	205

4.7 Вибір оптимального варіанту конструкції

Вибір оптимального варіанту конструкції здійснюємо, використовуючи метод комплексного показника [16, 17]. Для цього необхідно задатися пріоритетними показниками: об'ємом, масою, інтенсивністю відмов та собівартістю. Комплексний показник обчислюємо за формулою (4.12) [16,17]:

$$Q = K_1 \cdot \frac{M}{M_{T3}} + K_2 \cdot \frac{V}{V_{T3}} + K_3 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{T3}} + K_4 \cdot \frac{C}{C_{T3}} \quad (4.12)$$

де M – маса пристрою;

V – об'єм пристрою;

λ – інтенсивність відмов;

C – ціна виробу;

M_{T3} , V_{T3} , λ_{T3} , C_{T3} – відповідно об'єм, маса, інтенсивність відмов та ціна приладу згідно технічного завдання;

K_1 , K_2 , K_3 , K_4 – вагові коефіцієнти, що відповідно дорівнюють 0,8, 0,9; 0,9 та 1,0.

Умовно приймемо ціну для другого варіанту із техніко-економічного обґрунтування за аналог, а надійність – визначається із часу напрацювання (5000 год. за ТЗ, собівартість візьмемо 250 грн.), тому розрахунки будемо здійснювати, спираючись на ці дані.

Обчислимо комплексний показник для розглянутих варіантів:

$$Q_1 = 0,8 \cdot \frac{324}{500} + 0,9 \cdot \frac{1105}{1500} + 0,9 \cdot \frac{10,43 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{210}{250} = 2,07;$$

$$Q_2 = 0,8 \cdot \frac{267}{500} + 0,9 \cdot \frac{1105}{1500} + 0,9 \cdot \frac{10,43 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{200}{250} = 1,94;$$

$$Q_1 = 0,8 \cdot \frac{253}{500} + 0,9 \cdot \frac{1210}{1500} + 0,9 \cdot \frac{11,03 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{205}{250} = 2,00.$$

Очевидно, що оптимальною слід вважати конструкцію з найменшим значенням комплексного показника. Як видно з наближених розрахунків, коефіцієнт Q_2 має найменше значення, що і підтверджує правильність вибору варіанту конструкції.

Крім того, технічні характеристики і експлуатаційні параметри пристрою, що проектується за другим варіантом компоновання, значно відрізняються від першого та третього. Тому можна вважати, що розробка конструкції іонметра за другим варіантом буде вигідною як з економічної, так і технічної точки зору.

4.8 Розробка конструкції друкованої плати

4.8.1 Вибір типу друкованої плати

Даний пристрій має у своєму складі три мікроконтролери та десяток інших мікросхем, причому крок трасування має складати 1,25 мм. Тому, щоб полегшити трасування, оберемо двосторонню плату третього класу точності – це дозволить уникнути зайвих перемичок та спростить трасування плати.

Двосторонні плати характеризуються:

- а) високими комутативними якостями;
- б) підвищеною міцністю з'єднання;
- в) більш високою вартістю.

4.8.2 Вибір класу точності друкованої плати

Для даного виробу, з огляду на те, що крок координатної сітки, згідно ГОСТ 10317-82, становить 1,25 мм, і трасування ускладнене, оптимальним варіантом буде вибір 3-го класу точності друкованої плати.

Даний клас характеризується наступними елементами конструкції:

- а) ширина провідника в широких 0,45 мм;
- б) ширина провідника у вузьких місцях 0,25 мм;
- в) відстань між двома провідниками 0,25 мм;
- г) гарантійний поясок зовнішнього шару 0,10 мм;
- д) гарантійний поясок внутрішнього шару . 0,05 мм.

В широких місцях ширина провідника задається наступним класом – для третього це буде другий клас.

4.8.3 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваємо наступні вимоги:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) можливість працювати в умовах вакууму;

- г) забезпечення високої адгезії;
 д) мінімальні механічні короблення.

Таблиця 4.3 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵
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 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Найкращі параметри, згідно таблиці 4.3, має склотекстоліт. Тому за матеріал для друкованої плати обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-1,5, який має товщину фольги 35 мкм, товщина матеріалу з фольгою 1,5 мм. Він застосовується для виготовлення двосторонніх та односторонніх друкованих плат.

4.8.4 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується залежно від діаметрів отворів за формулою:

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 \times \epsilon + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (4.13)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору;

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

ϵ – ширина гарантійного пояса;

$\Delta t_{\text{в}}$ – верхній допуск на ширину провідника;

$\Delta t_{\text{тр}}$ – допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d – позиційний допуск розміщення отворів;

T_D – позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

$\Delta t_{\text{нв}}$ – нижній допуск на ширину провідника.

Для двосторонньої плати третього класу значення параметрів наступні:

$$\Delta d_{\text{отв}} = 0 \text{ мм}; \quad \epsilon = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{в}} = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{тр}} = 0;$$

$$T_d = 0,08 \text{ мм}; \quad T_D = 0,15 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{нв}} = 0,1 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальний допуск:

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0 + 2 \times 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою:

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2...0,4),$$

де $d_{\text{вив}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В даному приладі елементи мають наступні діаметри виводів (за таблицею 3.1):

0,5; 0,6; 0,7; 1,1 мм.

Здійснюємо оптимізацію діаметрів отворів:

$$d_1 = 0,5 + 0,4 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_3 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_4 = 1,1 + 0,2 = 1,3 \text{ мм}.$$

Маємо два діаметри отворів:

$$d_1 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 1,3 \text{ мм}.$$

Знаходимо діаметр контактних площадок:

$$D_1 = 0,9 + 0,5 = 1,4 \text{ мм}.$$

$$D_2 = 1,3 + 0,5 = 1,8 \text{ мм}.$$

4.8.5 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників проводиться для шин живлення та для інформаційних провідників.

Для шин живлення:

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (4.14)$$

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

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

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\max} = 0,2 \text{ А}$. Обчислюємо:

$$B_{\min} = \frac{0,2}{48 \cdot 0,035} = 0,12 \text{ мм} = 120 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (4.15)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$,

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

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,1 \text{ м}$,

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ В}$),

t – товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,2 \cdot 0,0175 \cdot 0,1}{0,25 \cdot 0,035} = 0,04 \text{ мм} = 40 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для

третього класу точності.

4.8.6 Трасування друкованої плати

Установка навісних елементів на друкованій платі здійснюється згідно з ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. При розташуванні елементів необхідно враховувати наступні фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація габаритних розмірів, забезпечення відведення тепла та ремонтпридатності.

Під час трасування провідників необхідно досягти мінімальних довжин зв'язків, мінімізації паразитних зв'язків між провідниками та елементами і, якщо можливо, то потрібно виконати рівномірне розподілення навісних елементів на платі.

У зв'язку з складним трасуванням вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на початок координат розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Далі всі операції здійснюємо автоматизовано, використовуючи систему автоматизованого проектування OrCAD-2001.

Розробку друкованої плати починаємо, завантаживши OrCAD Layout, і вибравши опцію *File / New*.

Спершу вводимо ім'я технологічного шаблону – *default.tch* із робочої папки (він належить до стандартного набору OrCAD). У зв'язку з тим, що елементна база в пристрої – зарубіжна, то використання шаблону *metric.tch* неможливе. Пояснюється це тим, що відстань між выводами та осьовими отворами радіоелементів у дюймовій мірі.

Далі вибираємо із робочої директорії файл списку з'єднань *Ionometr.MNL*, в якому у вигляді таблиці описано усі електричні з'єднання між елементами для трасування.

Після цього задаємо назву файлу плати, яку створимо – він матиме розширення *.max; для спрощення називаємо його *Ionometr.MAX*.

Під час завантаження списку з'єднань для кожного символу схеми в бібліотеках корпусів компонентів *.LLB (Footprint Libraries) обирається відповідний корпус (що контролюється за допомогою атрибута *PCB Footprint* чи з допомогою файлу *System.prt*).

Натисненням на панель *Link existing footprint to component*, після відкриття діалогового вікна, обрали ім'я бібліотеки і корпусу, зображення якого підходить для мікросхем – стабілізаторів живлення, оскільки для них не виявилось зарезервованого посадкового місця. Після завершення завантаження списку з'єднань на робочому екрані OrCAD Layout отримали корпуси компонентів даного проекту з електричними зв'язками.

Задаємо в меню *Options / Sistem Settings* міліметрову сітку поля, що дозволить зручніше рисувати та здійснювати розміщення компонентів.

Обираємо команду *Tool / Obstacle / New* і рисуємо межу для розміщення компонентів і трасування. Оскільки трансформатор у нас розміщений не на друкованій платі, то обираємо прямокутний профіль для плати.

Далі розміщуємо компоненти, які повинні мати фіксовані посадочні місця

на платі. Це – роз’єми живлення, телефонних апаратів та індикатори. Здійснюємо цю операцію за допомогою команди *Tool / Component / Select Tool* – по черзі ставимо компоненти на відповідне місце, обов’язково фіксуючи їх натисканням клавіші **L**, щоб після автоматичного розміщення вони не змістилися.

Потім командою *Auto / Place / Board* задаємо програмі самій розмістити компоненти, що лишилися, у вільну задану область.

Тепер задаємо в закладках ширину провідників і т. д., щоб перейти до безпосереднього трасування плати.

За командою *Options > Route Strategies > Route Layers* у таблиці трасування відключаємо два “нижніх” шари – адже плата має бути двосторонньою. Після цього командою *Options > Colors* залишаємо видимими тільки чотири шари: Global Layer, TOP, BOTTOM, SSTOP. Першим малюються габарити друкованої плати (вони збігаються іноді з межею трасування), два наступних є шарами, в яких здійснюється трасування, а останній – це шар, в якому здійснюються написи на платі та рисуються компоненти.

Командою *Auto / Autoroute / Board* запускаємо на виконання програму автоматичного трасування плати. Глобальні параметри стратегії автотрасування задані в діалоговому вікні, яке відкривається по команді *Options > Route > Setting*. Всі інші параметри задані в діалогових вікнах, що відкриваються по командах *Options > Route Strategies*.

По закінченню трасування здійснюємо редагування позначень елементів на платі за допомогою команди *Tool / Text / Select Tool*, та оформляємо креслення згідно з вимогами ДЕСТУ.

4.8.7 Розрахунок плати на вібростійкість

Визначаємо частоту власних коливань за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M} ab}, \quad (4.16)$$

де a, b – довжина і ширина плати: $a = 140$ мм, $b = 110$ мм;

D – циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (4.17)$$

де E – модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \times 10^{10}$ Н/м²;

h – товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M – маса плати з радіоелементами, $M = 33 + 51 = 84$ г.

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} (1 - 0,22^2) = 9,45;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,14^2} \left(1 + \frac{0,14^2}{0,11^2}\right) \sqrt{\frac{9,45}{0,084} \cdot 0,14 \cdot 0,11} = 276 \text{ Гц.}$$

$$f \neq f_p$$

$$276 \text{ Гц} \neq 70 \text{ Гц}$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою, а співвідношення розмірів плати задовольняють вимогам вібростійкості.

Визначаємо коефіцієнт динамічності за формулою:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (4.18)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – залежність коефіцієнта від коливань. Коли обидва краї закріплені $K(x) = K(y) = 1,3$;

η – коефіцієнт розстроювання:

$$\eta = f/f_p = 70/276 = 0,25;$$

ε – показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

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

Маємо:

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,25^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,25^2}{(1 - 0,25^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,25^2}} = \sqrt{\frac{1,088}{0,879}} = 1,24.$$

Віброміщення визначається за формулою:

$$S_B = \xi_0 \times K_d, \quad (4.19)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 (f_p)^2}$$

де a_0 – віброприскорення згідно ТЗ, $a_0 = 2g = 19,6 \text{ м/с}^2$.

$$\xi_0 = \frac{19,6}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 276^2} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ мм},$$

$$S_B = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 1,24 = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ (м)};$$

віброприскорення:

$$a_B = a_0 \cdot K_d = 19,6 \cdot 1,24 = 24,3 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Визначаємо прогин плати:

$$\delta_1 = S_B - \xi_0 = 2,5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ (мм)},$$

$$\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{дон}} \cdot l^2 = 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14^2 = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ (мм)}.$$

$$\delta_1 < \delta_{\text{гран}}.$$

Отже, прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення, можна сказати, що вібраційні навантаження не вплинуть на роботу пристрою.

4.8.8 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності пристрою в умовах впливу перехресних перешкод в лініях зв'язку, а також зовнішніх електромагнітних полів.

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

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Lambda}}{2}, \quad (4.20)$$

де $\varepsilon_{\text{п}} = 6$ – діелектрична проникність склотекстоліту;
 $\varepsilon_{\text{л}} = 4$ – діелектрична проникність лаку УР-231;
 $\varepsilon_{\text{r}} = 0,5 \cdot (6 + 4) = 5$.

2. Визначаємо взаємну ємність та індуктивність провідників, які розташовані на одній поверхні друкованої плати:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_{\text{r}}}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}], \quad (4.21)$$

де $\delta = 5 \times 10^{-4}$ – найменша відстань між двома провідниками, м;
 $W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ – товщина провідного шару міді, м;
 $b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ – ширина провідників для третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 9,72 \text{ (пФ)}.$$

Паразитна взаємоіндукція між двома друкованими провідниками M , нГн, визначається за формулою [22]:

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}], \quad (4.22)$$

де S – відстань між провідниками, $S = 0,05$ см;
 l_2 – довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 5$ см;
 t_1, t_2 – ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,025$ см.

Маємо:

$$M = 2 \cdot 5 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 38,9, \text{ (мГн)}.$$

Із запропонованих розрахунків паразитних ємностей і індуктивностей видно, що їхні параметри знаходяться в межах норми і не потрібно додаткових засобів з їх зниження, адже і ємність, і паразитна взаємоіндукція між провідниками мають значення, менші за допустимі.

5. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ

5.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик

Однією з найважливіших характеристик РЕА є технологічність конструкції, під якою необхідно розуміти сукупність властивостей РЕА, що дозволяють оптимально використовувати кошти, матеріали і час при технічній підготовці виробництва, виготовлення, експлуатації і ремонті в порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій того ж призначення.

Для оцінки технологічності РЕА використовують відносні показники K_i і комплексний показник K_k , що розраховується за середньозваженим значенням відносних показників із врахуванням коефіцієнтів φ_i , що характеризують вагову значимість показників, тобто ступінь їх впливу на трудомісткість виготовлення виробів.

Значення відносних показників K_i знаходиться в межах $0 \leq K_i \leq 1$, при цьому ріст показників відповідає вищій технологічності РЕА. Вираз для розрахунку відносного показника може мати вигляд або простого відношення $\frac{a}{b}$ або $1 - \frac{a}{b}$.

Перший вираз використовується в тих випадках, коли величина наближується до b , що відповідає підвищенню технологічності РЕА, другий – коли наближення величина a до b знижує технологічність. Коефіцієнт φ розраховується за формулою:

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad (5.1)$$

де i – порядковий номер показника технологічності в рангованій послідовності.

Базовими показниками технологічності для блоків радіотехнічного класу є наступні: коефіцієнт підготовки радіоелементів $K_{ПРЕ}$ (для нього $\varphi = 1$), коефіцієнт автоматизації монтажу $K_{АМ}$ ($\varphi = 1$), коефіцієнт складності збірки K_C зб ($\varphi = 0,75$), коефіцієнт механізації контролю $K_{МК}$ ($\varphi = 0,5$), коефіцієнт прогресивності формоутворення $K_{Ф}$ ($\varphi = 0,31$), коефіцієнт повторюваності радіоелементів $K_{ПОВ РЕ}$ ($\varphi = 0,185$), коефіцієнт складності обробки K_C об ($\varphi = 0,11$). Обчислимо дані коефіцієнти за нижче наведеними формулами.

1. Коефіцієнт підготовки ПРЕ:

$$K_{ПРЕ} = 1 - \frac{N_{М ПРЕ}}{N_{РЕ}}, \quad (5.2)$$

де $N_{М ПРЕ}$ – кількість радіоелементів, виводи яких формуються автоматизовано;

$N_{РЕ}$ – загальне число радіоелементів у виробі;

$$K_{ПРЕ} = 1 - \frac{107}{117} = 0,085.$$

2. Коефіцієнт автоматизації монтажу:

$$K_{AM} = \frac{N_{AM}}{N_M}, \quad (5.3)$$

де N_{AM} – кількість монтажних з'єднань, виконаних автоматизовано;
 N_M – загальна кількість з'єднань;

$$K_{AM} = \frac{400}{400} = 1.$$

3. Коефіцієнт складності збірки:

$$K_{CЗБ} = 1 - \frac{N_{ТСК}}{N_{ТВ}}, \quad (5.4)$$

де $N_{ТСК}$ – кількість типорозмірів вузлів, які під час складання потребують регулювання;

$N_{ТВ}$ – загальна кількість типорозмірів вузлів;

$$K_{CЗБ} = 1 - \frac{0}{2} = 1.$$

4. Коефіцієнт механізації контролю:

$$K_{МК} = \frac{N_{МК}}{N_K}, \quad (5.5)$$

де $N_{МК}$ – кількість автоматизованих контрольних операцій;

N_K – загальна кількість контрольних операцій;

$$K_{МК} = \frac{1}{2} = 0,5.$$

5. Коефіцієнт прогресивності формоутворення:

$$K_{\Phi} = \frac{N_{ПР}}{N_0}, \quad (5.6)$$

де $N_{ПР}$ – кількість деталей, виконаних прогресивним методом (у нашому випадку це – корпус і кришка із полістиролу);

N_0 – загальна кількість деталей;

$$K_{\Phi} = \frac{2}{2} = 1.$$

6. Коефіцієнт повторюваності радіоелементів:

$$K_{ПОВРЕ} = 1 - \frac{N_{ТРЕ}}{N_{РЕ}}, \quad (5.7)$$

де $N_{ТРЕ}$ – кількість типорозмірів радіоелементів;

$N_{РЕ}$ – загальна кількість радіоелементів;

$$K_{ПОВРЕ} = 1 - \frac{24}{117} = 0,79.$$

7. Коефіцієнт складності обробки:

$$K_{CОБ} = 1 - \frac{N_{СТР}}{N_0}, \quad (5.8)$$

де $N_{СТР}$ – кількість деталей, виготовлених методом зняття стружки;

N_0 – загальна кількість деталей;

$$K_{CОБ} = 1 - \frac{0}{2} = 1.$$

В число показників, що обираються за базові, повинні включатися

показники, які здійснюють найбільший вплив на технологічність конструкції РЕА певного призначення і умов використання.

Склад базових показників технологічності, їх рангована послідовність за значимістю, коефіцієнти значимості φ_i для радіотехнічних виробів приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Базові показники технологічності

Тип	$K_{ПРЕ}$	$K_{АМ}$	$K_{СЗБ}$	$K_{МК}$	$K_{Ф}$	$K_{ПОВРЕ}$	$K_{СОБ}$
φ_i	1	1	0,75	0,5	0,31	0,185	0,11
K_i	0,085	1	1	0,5	1	0,79	1

Основний показник, що використовується для оцінки технологічності конструкції – комплексний показник, який визначається на основі базових показників за формулою:

$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^S K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^S \varphi_i}; \quad (5.9)$$

де K_i – базовий показник відповідного класу блоків РЕА;

i – порядковий номер показника в рангованій послідовності;

S – загальне число взятих базових показників технологічності;

$$K_K = \frac{1 \cdot 0,085 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0,75 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,31 \cdot 1 + 0,185 \cdot 0,79 + 0,11 \cdot 1}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,185 + 0,11} = \frac{2,65}{3,85} = 0,69.$$

За відомим нормативним комплексним показником оцінка технологічності РЕА виражається відношенням досягнутого K_K до нормативного K_H , причому це відношення повинно задовольняти умові $\frac{K_K}{K_H} \geq 1$.

Для оцінки технологічності для даної конструкції встановлюється $K_H=0,5$, обчислюємо:

$$\frac{K_K}{K_H} = \frac{0,69}{0,5} = 1,38.$$

Як бачимо з розрахунків, $1,38 \geq 1$ – задовольняє умові, тобто технологічність є достатньою і не потребує заходів для її підвищення.

5.2 Розробка технології складання пристрою

Технологічною слід вважати конструкцію, яка повністю відповідає висунутим до виробу експлуатаційним вимогам, може бути здійснена найбільш економічними технологічними процесами.

Всі навісні елементи (конденсатори, світлодіоди, резистори, роз'єми, мікросхеми, транзистори тощо) перед монтажем та складанням проходять підготовку, при якій випрямляють, підрізають, лудять та вигинають виводи. В даній конструкції вигинати виводи слід лише для резисторів, конденсаторів,

мікросхеми DA7, транзисторів та діодів.

Підготовка навісних деталей ведеться з використанням спеціальних пристосувань та установок, які дозволяють механізувати ці операції.

Технологічний процес складання та монтажу блока включає наступні етапи:

- заготовку монтажних проводів, зачищення, лудіння їх кінців, підготовку до паяння ЕРЕ;
- кріплення монтажних проводів та виводів радіодеталей на друкованій платі (сполучення плати з індикатором та гучномовцем);
- паяння з'єднань;
- контроль якості виконання робіт.

5.2.1 Технологічний процес виготовлення друкованої плати

З міркувань зменшення розмірів функціонального блоку, виготовляється двостороння друкована плата (ДДП). Для виготовлення таких плат найбільш технологічним є комбінований позитивний метод.

Послідовність операцій під час виготовлення ДДП цим методом наступна:

- виготовлення робочих фотошаблонів методом контактного експонування;
- операція суміщення малюнку двох фотошаблонів (верхній та нижній шари), та склеювання конверту для двостороннього експонування, вставки між плівками фотошаблонів робляться однакової товщини із склотекстолітом;
- для автоматичного суміщення отворів на фотошаблоні проводиться пробивання раніше відмічених базових отворів, з точністю 0,05 мм;
- написання програми свердління отворів на станку з числово-програмним керуванням (ЧПК);
- розкроювання листа на заготовки;
- складання заготовок плат у пакети 8–10 шт. та пробивання базових отворів (на матриці з пуансонами);
- свердління отворів на станках з ЧПК;
- очищення заготовок;
- проведення наскрізної металізації методом хімічного осадження хлорного паладію;
- обробка отворів з металізацією (використовують спеціальні металокерамічні свердла з твердих сплавів);
- хімічна очистка фольгованого покриття плат;
- нанесення плівкового фоторезисту типу ФІШ–1 товщиною 70 мкм;
- заготовку плати вставляють у конверт та суміщають базові отвори;
- для щільного прилягання шаблонів до заготовки між ними відкачують повітря, створюючи вакуум;
- здійснення двостороннього експонування за допомогою джерел ультрафіолетового світла;
- проявлення фоторезисту в конвеєрних потокових установках

модульного типу, обладнаних пристроями подачі розчинів з їх фільтрацією та керуванням тиску. Для проявлення може бути використаний розчин: трихлоретилен – 70 % та толуол – 30 %;

- проводиться деполімеризація фоторезисту при температурі 180 °С;
- травлення міді з пробільних місць, його виконують хімічним методом в розчині хлорної міді, так як він не взаємодіє з задубленим фоторезистом;
- зняття захисного фоторезисту органічними травниками;
- гальванічне покриття доріжок сплавом “Розе”;
- промивка плат в дистильованій воді;
- вирубка плат із технологічних заготовок;
- обробка контуру плати;
- нанесення маркувальних знаків;
- контроль плати відділом технічного контролю (ВТК).

5.2.2 Технологія монтажу елементів на друкованій платі

Технологічний процес монтажу складається з операцій: нанесення флюсу; паяння; очищення; контроль. Нанесення флюсу на з’єднувані поверхні здійснюється пензлем.

Перед паянням флюс підсушується при температурі 80–100 °С, а плата підігрівається. Так роблять через те, що під час взаємодії рідкого флюсу з розплавленим припоєм проходить бурхливе кипіння розчинника з утворенням значної кількості газів та парів, які витісняють розплавлений припій від зони пайки і призводять до пористості монтажних з’єднань. Контакткування розплавленого припою із флюсом, що не висох, охолоджує його поверхневі шари за рахунок теплоти пароутворення, що погіршує якість пайки. Попередній нагрів плати також сприяє встановленню теплового балансу в системі “плата-припій”, зменшує тепловий удар, внутрішнє напруження в з’єднаннях та короблення друкованої плати. Для пайки компонентів використовуємо флюс КЭ, до якого входить каніфоль 30–40 % та спирт етиловий 70–60 %.

За припій вибираємо легкоплавкий ПОС–61 із вмістом олова 61 %. Температура плавлення припою ПОС–61 становить 183 °С. Послідовність операцій монтажу елементів на друкованій платі;

1) увімкнути паяльник. Переконатися в наявності заземлення, потрібної кількості припою та флюсу, а також визначити чи працює місцева витяжна вентиляція, надіти антистатичний браслет;

2) запаяти конденсатори. Тривалість пайки не повинна перевищувати 4–5 секунд. Перегрівання радіоелемента призведе до зміни його параметрів;

3) запаяти резистори;

4) запаяти кварцові резонатори і дроселі;

5) запаяти мікросхеми; пайку здійснювати по діагоналі навхрест;

6) запаяти діоди;

7) запаяти транзистори;

8) контроль пайки, а також проведення регулювальних робіт.

Під час паяння припій повинен затікати у вільне місце між стінками металізованого отвору та виводом ЕРЕ і злегка проступати на сторону розташування елементів. Слід намагатися щоб не було зайвих напливів припою на выводах та доріжках. Під час пайки повинна бути забезпечена добре змочування сполучених поверхонь припоєм, захист від окислення під час нагрівання до заданої температури, відповідність властивостей припою властивостям з'єднувальних матеріалів, дотримання заданих режимів процесу та надійна фіксація з'єднаних поверхонь на етапі тверднення припою. Виконане з'єднання повинно забезпечувати задану механічну міцність, високу електропровідність, антикорозійну стійкість [16].

Після пайки на поверхні плат залишається деяка кількість флюсу та продуктів його розкладу, які спроможні викликати корозію контактних з'єднань і погіршити діелектричні характеристики використовуваних матеріалів. Сліди каніфольних флюсів знешкоджуються промиванням протягом 0,5–1 хв. в таких розчинниках, як спирт, суміш бензину та спирту (1:1).

5.2.3 Технологія складання пристрою

Пристрій збирається в такій послідовності:

- 1) здійснюється посадка на гвинти друкованої плати в корпусі;
- 2) виконується кріплення роз'ємів у отвори в корпусі збоку пристрою;
- 3) виконується кріплення світлодіодів до передньої частини корпусу за допомогою клею;
- 4) гучномовець, матричний індикатор та кнопки кріпляться до кришки пристрою у відповідні тримачі за допомогою клею;
- 5) здійснюються зв'язки між друкованою платою і роз'ємами і перемикачем, що закріплені на корпусі, та світлодіодами і гучномовцем на кришці за допомогою монтажних проводів;
- 6) корпус закривається зверху кришкою за до кляцання.

Нанести контрастною фарбою пояснювальні написи до елементів, які винесені на корпус приладу, а також маркування назви приладу на кришці.

5.3 Оптимізація пристрою

Іонометри, якими користуються в лабораторіях, в основному належать до класу високоякісної апаратури, що забезпечує надійний захист від перенасичення внутрішнього ринку підробками, наприклад, тайванського виробництва. Якість вимірювання та надійність подібних підробок настільки низька, що їх навіть не купують на запчастини.

Наш же пристрій здійснює запис у цифровій формі як у пам'ять, так і передає її на комп'ютер, і якість вимірювання та обробки інформації дуже висока. Крім того, використавши міцний матеріал для корпусу та покращивши дизайн пристрою, ми підвищили надійність і ергономіку пристрою, а отже, і завбачили менші витрати на ремонт приладу в майбутньому.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Нові устаткування повинні враховувати сучасний рівень розвитку науки і техніки, економічну доцільність і ефективність, а також екологічні вимоги – це ті, які робили б щонайменший негативний вплив на їх виробників, користувачів та навколишнього середовища.

Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Завданням охорони праці є ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму, зведення до мінімуму ймовірності нещасних випадків з одночасним забезпеченням безпечних умов праці при її максимальній продуктивності.

Все це призводить, в свою чергу, до підвищення продуктивності праці за рахунок збереження здоров'я і працездатності людини та до зменшення затрат на оплату пільг і компенсацій за роботу в небезпечних та шкідливих умовах.

Набувши теоретичних і практичних навиків та оволодівши методами вирішення питань охорони праці в ході дипломного проектування, майбутні інженери будуть добре підготовлені до самостійного вирішення конкретних задач в реальних умовах виробництва.

Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [15], мали 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; недостатня освітленість робочої зони.

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

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

6.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці. Це гарантує Конституція України (ч. 4 ст. 43) [23]. Більш детальні вимоги щодо охорони праці, зокрема охорони праці під час роботи із використанням ПК, містять Кодекс законів про працю, Закон України «Про охорону праці», а також інші підзаконні нормативно-правові акти. У відповідності до вимог ст. 153 Кодексу законів про працю України та ст. 6 Закону України «Про охорону праці» на всіх підприємствах, в установах, організаціях створюються безпечні і нешкідливі умови праці [24]. Забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці покладається на власника або уповноважений ним орган. Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів,

устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. Власник або уповноважений ним орган повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизму, і забезпечувати санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників.

Організація робочого місця повинна забезпечувати відповідність всіх його елементів і їхнього розташування ергономічним вимогам та особливостям трудової діяльності [16].

Робочі місця працівників, обладнані ПК, повинні відповідати вимогам [22, 19].

Розміри робочого столу: висота – 725 мм, ширина – 600 -1400 мм, глибина – 800 – 1000 мм, що відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 [19]. Робочий стіл для ПК має простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм.

Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці забезпечує добру видимість монітору, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900 – 1300 мм, по глибині 400 – 500 мм.

Оскільки в приміщенні лише три робочі місця, обладнані ПК, тому необхідності відділяти їх одне від одного перегородками висотою 1,5 – 2 м немає.

Оскільки пристрій вимірює кількість іонів в біологічних розчинах, необхідно визначити вимоги безпеки під час роботи з біологічними розчинами. Так загальні вимоги охорони праці до роботи з біологічним матеріалом передбачають обов'язкове виконання персоналом наступних дій:

1. До самостійної роботи, при якій можливий контакт з кров'ю та іншими біологічними рідинами пацієнтів, допускаються особи старше 18 років, які не мають медичних протипоказань, навчені безпечним методам роботи, що пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктаж з охорони праці, стажування та перевірку знань вимог охорони праці.

2. При роботі персоналу слід керуватися принципом, що всі пацієнти потенційно інфіковані.

3. При виконанні робіт з кров'ю та іншими біологічними рідинами пацієнтів можливі механічні пошкодження шкіри: - колоті рани при необережному поводженні зі шприцами та іншими колючими інструментами (предметами); - порізи кистей рук (при відкриванні пляшок, флаконів, пробірок з кров'ю або сироваткою; при роботі з контамінованих ВІЛ-інструментами).

4. Персонал повинен виконувати роботу в технологічному одязі, передбаченої галузевими нормами: халат бавовняний, медична шапочка, медичні рукавички, надіті поверх рукавів медичного халата.

5. Для проведення інвазійних процедур рекомендовано надягати дві пари рукавичок, водонепроникний халат і фартух.

6. При загрозі розбризкування крові та інших біологічних рідин роботи слід виконувати в масках, захисних окулярах, при необхідності, використовувати захисні екрани, клейончасті фартухи. При аварії під час роботи з інфекційним матеріалом (биття посуду, розприскування зі шприцу або піпетки, або при зараженні (розтині) тварин, а також в усіх випадках, що ведуть до забруднення заразним матеріалом навколишніх предметів, одягу або відкритих частин тіла працівників), персонал, який при цьому присутній, зобов'язаний негайно провести знезараження приміщення, обладнання і предметів, що могли бути інфіковані, а також провести самознезараження.

6.1.2. Електробезпека приміщення

Приміщення, в якому відбувалося дослідження за класом електробезпеки – це приміщення без підвищеної небезпеки, оскільки фактори підвищеної та особливої небезпеки на робочому місці відсутні [18].

Покриття плит підлоги гладке, міцне, антистатичне, зручним для очищення пилососом та для проведення вологого прибирання. Необхідно забезпечувати відвід статичних зарядів з покриття підлоги. Для протирання підлоги застосовують рідини, пари яких не утворюють вибухо- та пожежебезпечних сумішей з повітрям і не викликає корозії контактів електричних сполук [19].

Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом таким чином, щоб уникнути заплутування проводів у конструкціях машин, приладів і меблів.

6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Робота розробника згідно за енерговитратами відноситься до категорії 1а [14].

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в табл.6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для підтримки оптимального рівня мікроклімату в приміщенні передбачено систему кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури, систему центрального опалення та систематичне вологе прибирання приміщення.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється розробка, можливими шкідливими речовинами у повітрі є фенол, пил, озон та вуглекислий газ. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [21] які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.6.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

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

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

6.2.3 Виробниче освітлення

Приміщення, в яких встановлені персональні комп'ютери, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [17].

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (згідно ДБН В.2.5-28-2018 [17]) зазначені у таблиці 6.4:

Штучне освітлення в приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення). Зазначення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500лк. Якщо ці значення освітленості неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. При цьому світильники

місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300лк. Як джерела світла в разі штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

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

Для забезпечення достатнього освітлення слід максимально використовувати бічне природного освітлення, систематично очищувати скло від бруду та систематично замінювати перегорілі лампи.

6.2.4 Виробничий шум та вібрації

Джерелами шуму під час розробки є працююча техніка та транспорт, який рухається ззовні приміщення.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [20].

Таблиця 6.5 - Рівень звукового тиску

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 зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі та стін;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало

шумові вентилятори;

- встановити металопластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.
- під час дослідження робочого приміщення джерел виробничої вібрації виявлено не було.

6.2.5. Виробничі випромінювання

Робоче місце розробника обладнане ПК, який є джерелом електромагнітного випромінювання.

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань від ПК на організм працівника залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

Таблиця 6.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля 60 кГц до 3 мГц	50	5	
Напруженість електромагнітного поля 3 кГц до 30 мГц	20		
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 50 мГц	10	0,3	
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 300 мГц 5	5		
Напруженість електромагнітного поля 300 кГц до 300 гГц			10Вт/кв. м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 — 280 нм)			0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280 — 320 нм)			0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 — 400 нм)			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 нм			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм			35,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу			20кВ/м

Електромагнітні випромінювання, випромінювані ПК, мають широкий діапазон частот. Відповідно до стандартів, електромагнітне випромінювання повинне бути виміряне в діапазоні частот від 5 Гц до 400 кГц. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівника становлять наведені в таблиці 6.6.

Для обмеження впливу ЕМП на розробника слід використовувати лише якісну техніку із сертифікатом якості і дотримуватися встановленого часу роботи за ПК.

6.3. Пожежна безпека

Основними чинниками пожеж на виробництві є: порушення технологічного режиму роботи обладнання; несправність електроустаткування; погана підготовка обладнання до ремонту; самозаймання деяких матеріалів і речовин тощо

З метою досягнення нормативного рівня безпеки в Україні створено систему пожежної безпеки, яка включає:

- систему протипожежного захисту;
- систему передбачення пожежі.

В приміщенні, де виконувалася робота використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень [25].

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [26]. Робоча зона дослідника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де здійснювалося дослідження такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електро побутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкннутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

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

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

2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист приміщення здійснюється за такими чотирма напрямками.

1. Обмеження розмірів та поширення пожежі:

– розміщення будівель та споруд на території об'єкта із дотриманням протипожежних розривів та інших вимог пожежної безпеки;

– дотримання обмежень стосовно кількості поверхів будівель та площі поверху;

– правильне планування та розміщення виробничих цехів, приміщень, дільниць у межах будівлі;

– розміщення пожежонебезпечних процесів та устаткування в ізольованих приміщеннях, відсіках, камерах;

– вибір будівельних конструкцій необхідних ступенів вогнестійкості;

– встановлювання протипожежних перешкод у будівлях, системах вентиляції, паливних та кабельних комунікаціях;

– обмеження витікання та розтікання легкозаймистих та горючих рідин у разі пожежі;

– облаштування систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння.

2. Обмеження розвитку пожежі:

– обмеження кількості горючих речовин, що одночасно знаходяться в приміщенні;

– використання оздоблювальних будівельних та конструкційних матеріалів з нормативними показниками вибухопожежонебезпечності;

– своєчасне звільнення приміщень від залишків горючих матеріалів;

– застосування для пожежонебезпечних речовин спеціального устаткування із посиленням захистом від пошкоджень.

3. Забезпечення безпечної евакуації людей та майна:

– вибір такого об'ємно-планувального та конструктивного виконання будівлі, щоб евакуація людей була завершена до настання гранично допустимих рівнів чинників пожежі;

– застосування будівельних конструкцій будівель та споруд відповідних ступенів вогнестійкості, щоб вони зберігали несучі та огорожувальні функції протягом всього часу евакуації;

– вибір відповідних засобів колективного та індивідуального захисту;

– застосування аварійного вимкнення устаткування та комунікацій;

– облаштування систем протидимового захисту, які запобігають задимленню шляхів евакуації;

– влаштування необхідних шляхів евакуації (коридорів, сходових кліток, зовнішніх пожежних драбин), раціональне їх розміщення та належне утримання.

4. Створення умов для успішного гасіння пожежі:

- встановлення в будівлях та приміщеннях установок пожежної автоматики;
- забезпечення приміщень нормованою кількістю первинних засобів пожежогасіння;
- облаштування та утримання в належному стані території підприємства, під'їздів до будівельних споруд, пожежних водоймищ, гідрантів.

У приміщенні на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5, що відповідає нормам [27]. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

У даній роботі проводилась розробка конструкції іонометра – багатофункціонального вимірювального приладу для визначення рівню концентрації іонів в біологічних рідинах.

Під час дослідження були виявлені переваги пристрою, що розробляється, над його аналогами. До переваг належать і нижча вартість, і набагато нижча вага, простота в експлуатації, поширена елементна база, висока надійність.

Графічну частину виконано з дотриманням вимог ЄСКД. На графічних частинах листах показані електрична принципова схеми, друкована плата пристрою, складальний кресленик плати друкованої, а також відповідні їм перелік електментів та специфікація.

Всі етапи супроводжувались ретельними дослідженнями з використанням системного підходу при розробці як технічної частини, так і розділу безпеки життєдіяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жаровський Ф.Г., Піліпенко А.Т., П'ятницький І.В. Аналітична хімія. – К.: Вища школа, 1982. – 544с.
2. Основы аналитической химии. Кн.2. Методы химического анализа: Учеб. для вузов / Под ред. акад. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. шк., 2002. Т.2 – 494 с.
3. Иономер И-500 – Режим доступа: <http://www.kazus.ru/shemes/showpage/0/910/1.html>.
- Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2007. — Т. 2 : Л — Р. — 670 с. — ISBN 57740-0828-2.
4. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА/ В.Т. Белинский и др.. – К.: Вища школа, 1992.
5. Терещук Р.М., Терещук К.М. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. – К.: Наукова думка, 1989. – 800 с.
6. Горобец А.И., Степаненко А.И., Коронкевич В.М. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры. К.: Техніка, 1985. – 312 с.
7. Ненашев А.П., Маланич Ю. А. Конструирование радиоэлектронных систем. – М.: Высшая школа, 1990, – 432 с.
8. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций РЕА. – М.: Радио и связь, 1989. – 296 с.
9. Дульнев Г.И., Тарковський Н.И. Тепловые режимы радиоэлектронной аппаратуры. – Л.: Энергия, 1971. – 248 с.
10. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии, надежности ЭВА: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с.
11. Калінін В.І., Костюк О.А., Грудін А.А. Математичні моделі та методика оцінки експлуатаційної надійності елементів і виробів електронної техніки. Частина I, II, III. Навчальний посібник/ В.: ВДТУ, 1999 – 196 с.
12. Варламов Р.Г, Евдокимов Р.С. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Советское радио, 1975 – 375 с.
13. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Конструювання електронної апаратури". / Укладачі Є.Й. Волуевич, Р.Ф.Лободзинська та ін. – Вінниця.: ВДТУ, 1997. – 84 с.
14. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
15. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. . - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html
16. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. рабочее место при выполнении работ сидя. общие эргономические требования - [Електронний ресурс] - Режим доступа: http://www.yondi.ru/inner_c_article_id_1140.phtm

17. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

18. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устрою електроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

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

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

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

22. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням:90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL:<http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>.

23. Конституція України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР

24. Про охорону праці Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

25. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

26. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

27. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем

Кафедра БМІОЕС

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМІОЕС
к.т.н., доцент Коваль Л.Г.
« ____ » _____ 2022 року

«РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ІОНІВ В
БІОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНАХ»

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до бакалаврської дипломної роботи
за спеціальністю 163 – біомедична інженерія
08-35.БДР.040.04.000 ТЗ

Керівник бакалаврської
дипломної роботи:
к.т.н., доцент Коваль Л.Г.

« ____ » _____ 2022 р.

Розробив: студент гр. БМІ-186

Кузнєцов П.Г.
« ____ » _____ 2022 р.

1. Назва БДР: «Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах»

2. Виконавець БДР: Кузнецов Павло Геннадійович, ст. гр. БМІ-186

3. Підставою для виконання є наказ ВНТУ № 66 від 24 березня 2022р.

4. Мета БДР і призначення продукції: метою даної роботи є розроблення конструкції іонометра, який використовується для визначення кількості іонів (рівня pH) біологічних рідин.

5. Джерела розробки:

5.1 Іономер И-500 – Режим доступу к странице: <http://www.kazus.ru/shemes/showpage/0/910/1.html>.

5.2 Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА/ А.А. Яншин.: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с.

5.3 Лободзінська Р.Ф., Костюк О.А., Нікольський О.І., Шеремета О.П. Конструювання і технологія радіоелектронних засобів. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 90 с.

6. Технічні вимоги:

6.1 Електричні характеристики:

- напруга живлення, В	12 В
- струм споживання, А, не більше	0,3
- споживана потужність, Вт, не більше	4
- кількість каналів вимірювання	1
- напрацювання на відмову, год, не менше	5000

6.2 Конструктивні параметри:

- об'єм, см ³ , не більше	1500
- маса, г, не більше	500

6.3 Експлуатаційні параметри:

- температура, °С	0..+45
- відносна вологість, %	93
- тиск, кПа	110

6.4 Вимоги до техніки безпеки:

- клас захисту	II
----------------	----

6.5 Вимоги до живлення: живлення здійснюється за допомогою кабелю від батареї 12В або адаптеру від мережі 220В.

6.6 Вимоги до комунікації: інтерфейс передачі даних RS-232.

6.7 Вимоги до експлуатації та ремонту: ремонт проводити при необхідності згідно технічного стану

6.8 Умови експлуатації

- клас використання: наземна;
- група використання: переносна;
- підгрупа використання: побутова;

6.9 Кліматичне виконання: все кліматичне (тип В).

6.10 Категорії розміщення на об'єкті: експлуатація проводиться в межах приміщення, можливе використання поза приміщенням при наявності портативного ПК.

6.11 Вимоги технологічності і уніфікації: забезпечення високого рівня серійності виробу і його складових частин за допомогою стандартизації, обмеження номенклатури складових частин конструкції і застосовуваних матеріалів; підвищення застосовуваності додаванням (збільшенням каналів). Схема виділяє мало тепла, тому елементи можуть розміщатися щільно, і не потребувати додаткового охолодження. Для ремонту, чи заміни радіоелементів, корпус приладу містить верхню кришку яку потрібно відкрутити та зняти, після чого від'єднати конектор від корпусу, після чого плата висовується з корпусу.

6.12 Вимоги до ергономіки та естетики: пристрій повинен мати мінімальні розміри. На боковій стороні приладу знаходиться USB-B роз'єм для підключення до ПК. Сам пристрій знаходиться в герметичному прямокутному корпусі, живиться даний пристрій від батареї. На приладі нанесена інформація: вид живлення, номінальна напруга живлення (5В), споживна потужність Корпус повинен бути виконаний з пластмаси і з'єднаний різьбовим з'єднанням.

6.13 Патентно-правові вимоги: конструкція повинна забезпечувати патентну чистоту, розробник повинен дотримуватися новизни технічного рішення, сама конструкція – містити суттєві відмінності від аналогічних розробок.

7. Вимоги до сировини та матеріалів: плата пристрою має виготовлятися з фальцованного двостороннього склотекстоліту марки СФ-2-35-1,5. Провідники вкриті сплавом Розе (32% Pb, 16% Sn, 52% Bi). Корпус приладу виготовлений з АБС пластика, жовтого кольору, товщиною 2 мм.

8. Вимоги до консервації, пакування та маркування: не потребує, транспортування здійснюється в повітряно-бульбашковій плівці, яка вкладена в спеціальну форму з пінопласту, форма з пінопласту вкладається в коробку з гафрованого картону та закривається.

9. Вимоги до розробленої документації:

– склад текстової КД: індивідуальне завдання на БДР, технічне завдання, пояснювальна записка.

– склад графічної КД: схема електрична принципова, робочий кресленик друкованої плати, складальний кресленик друкованого вузла, перелік елементів, специфікація.

10. Етапи та терміни виконання БДР:

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється викладачем згідно з графіком виконання БДР.

11. Порядок контролю та прийняття :

Прийняття БДР здійснюється комісією, затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту. Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника БДР.

12. Календарний план здачі розділів БДР

№	Етап роботи	Дата
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	До 08.03.2022
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	До 30.04.2022
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	До 15.05.2022
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 25.05.2022
5	Попередній захист БДР	10.06.2022
6	Нормоконтроль БДР	10.06.2022
7	Рецензування БДР	21.06.2022
8	Захист БДР	22.06.2022

Розробив студент гр. БМІ-186 _____ Кузнецов П. Г.

Додаток Б

Схема електрична принципова

Додаток В

Перелік елементів кресленик друкованої плати

Поз.	Назва	Кіл	Примітки
BQ1	Гучномовець ЗП-3	1	
	<u>Конденсатори</u>		
	КМ-5Б ОЖ0.460.171.ТУ		
	К53-16 ОЖ0.464.214.ТУ		
	К75-1а ОЖ0.467.256.ТУ		
C1,C2	К75-1а-Н90-0,68 мкФ	2	
C3	КМ-5Б-Н90-0,1 мкФ	1	
C4	К53-16-10мкФ-16В	1	
C5	КМ-5Б-Н90-0,1 мкФ	1	
C6-C8	К75-1а-Н90-0,68 мкФ	3	
C9	К53-16-10мкФ-16В	1	
C10-C13	К75-1а-Н90-0,68 мкФ	4	
C14-C16	КМ-5Б-П33-33 пФ	3	
C17, C18	КМ-5Б-Н90-0,1 мкФ	2	
C19	КМ-5Б-П33-33 пФ	1	
C20	КМ-5Б-П33-4300 пФ	1	
C21, C22	КМ-5Б-Н90-0,1 мкФ	2	
C23	К75-1а-Н90-1 мкФ	1	
C24	К53-16-100мкФ-16В	1	
C25-C26	КМ-5Б-П33-33 пФ	2	
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1	LMC6001	1	
DA2	AD820	1	
DA3	LM317	1	

08-35.БДР.040.04.000 ПЕЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розроб.		Кузнецов П.Г.		
Перевір.		Коваль Л.Г.		
Реценз.				
Н. конт.		Коваль Л.Г.		
Затв.		Коваль Л.Г.		
Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах Перелік елементів			Літ.	Аркуш
				1
			Аркушів	4
ВНТУ, гр. БМІ-186				

Поз.	Назва	Кіл	Примітки
DA4	7806	1	
DA5	КР140УД12 а02.073.058.ТУ	1	
DD1	МАХ232	1	
DD2	МАХ664	1	
DD3	МАХ663	1	
DD4	МАХ872	1	
DD5	PIC16F84	1	
DD6	МАХ132	1	
DD7	PIC16C622	1	
DD8	К561КП1 а01.073.062.ТУ	1	
DD9	PIC16F84	1	
HG1	Індикатор матричний ВТ21605	1	
HL1-HL2	Діод випромінювальний АЛ307БМ	2	
L1-L2	Дросель 10 мкГн	2	
	<u>Резистори</u>		
	С2-23-0,125 ОЖ0.467.104.ТУ		
	СП3-39 ОЖ0.467.104.ТУ		
R1	С2-23-0,125-24 кОм±5%	1	
R2	С2-23-0,125-1 кОм±5%	1	
R3-R5	С2-23-0,125-10 кОм±5%	3	
R6	С2-23-0,125-18 кОм±5%	1	
R7	С2-23-0,125-1,5 кОм±5%	1	
R8	SF-12	1	
R9	С2-23-0,125-100 МОм±5%	1	
R10,R11	С2-23-0,125-10 кОм±5%	2	
R12	С2-23-0,125-1,5 кОм±5%	1	
08-35.БДР.040.04.000 ПЕЗ			
			Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис
			Дата
			2

Поз.	Назва	Кіл	Примітки
R13	C2-23-0,5-100 Ом ±5%	1	
R14	C2-23-0,125-6,2 кОм ±5%	1	
R15	C2-23-0,125-620 кОм ±5%	1	
R16	C2-23-0,125-18 кОм ±5%	1	
R17	C2-23-0,125-1 кОм ±5%	1	
R18	C2-23-0,125-6,2 кОм ±5%	1	
R19	СПЗ-39-0,125-680 Ом ±5%	1	
R20	C2-23-0,125-10 кОм ±5%	1	
R21	СПЗ-39-0,125-1 кОм ±5%	1	
R22	C2-23-0,125-100 кОм ±5%	1	
R23	C2-23-0,125-10 кОм ±5%	1	
R24	C2-23-0,125-1 кОм ±5%	1	
R25	C2-23-0,125-150 Ом ±5%	1	
R26	C2-23-0,125-5 Ом ±5%	1	
R27,R28	C2-23-0,125-10 кОм ±5%	2	
R29	C2-23-0,125-1,5 кОм ±5%	1	
R30-R34	C2-23-0,125-10 кОм ±5%	5	
R35	C2-23-0,125-3 кОм ±5%	1	
R36	C2-23-0,125-1,5 кОм ±5%	1	
R37	C2-23-0,125-10 кОм ±5%	1	
SA1	Вимикач П2К	1	
	<u>Кнопки</u>		
SB1-SB4	ПКН-3	4	
	<u>Діоди</u>		
VD1-VD2	КС153А	2	
VD3-VD10	КД521А	8	
VD12	КС153А	1	
08-35.БДР.040.04.000 ПЕЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис
			Дата
			Арк
			3

Додаток Г

Робочий кресленик друкованої плати

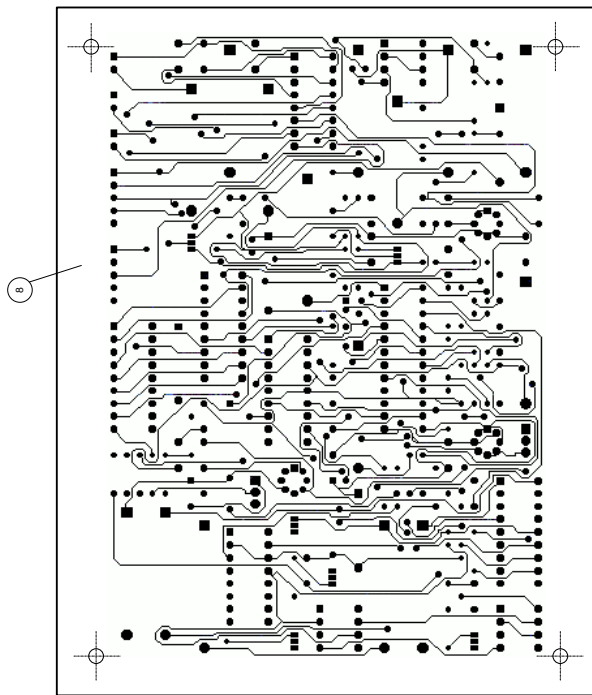
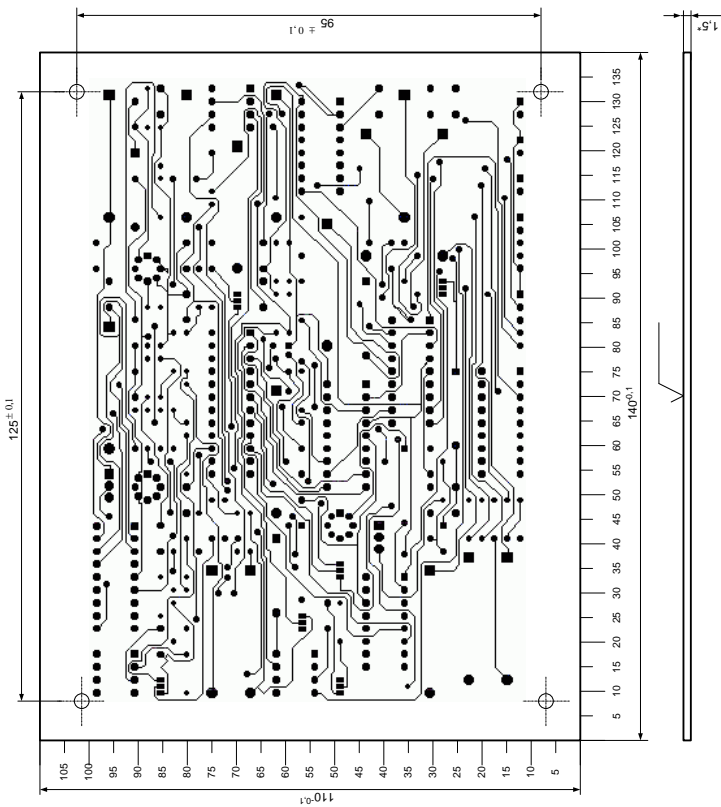


Таблица 1

Указание по условной схеме	Диаметр отпору, мм	Диаметр конт. заш., мм	Наивысшая ширина заш., мм	Классность отпоров
●	0,3	1,4	6	340
●	1,3	1,8	6	17
●	0,5	1,0	6	73
○	3	-	-	4

Таблица 2

Параметры друкованого рисунка	Размер, мм	
	в ширине	у втулок
Ширина проводника	0,45	0,25
Расстояние між проводниками	0,25	0,15

- *Размеры для доводки.
- Платы изготовить комбинированным методом.
- Плата повинна відповідати ГОСТ 23751-86.
- Крок координатної сітки 2,5 ± 0,1 мм.
- Параметри друкованого рисунку вказані в ряді з таблицями 1, 2.
- Форма контактноі площадки довільна, s = 0,1 мм.
- Граничні відстані між центрами контактних площадок ± 0,1 мм.
- На поверхню плати, зі сторони провідника, нанести захисну маску.
- Позиційні позначення елементів маркувати фарбою БМ білого, шрифтом ЗГР-3.
- Друкувати провідники і контакти площадок, не захищені маскою, позначити сплавам «РФБЕ».
- Заводський номер / дату виготовлення виконати фарбою БМ білого, шрифтом ЗГР-3.

08-35.БДР.040.04.001		Лист	Масштаб
ВМ.Друк. № докум.	Шліфок Додат.	Плата друкована	
Розроб. Коваль І.Г.		Розробка плати виконана	
Викон. Коваль І.Г.		Класність (конт.) в блогах/типах	33 / 2:1
Перев. І.		Розмір	Друкує ДЗР/ШШ
Наказ. Коваль І.Г.		СФ-2, 35-1, 5	
Затв. Коваль І.Г.		ГОСТ 10316-78	ВНТУ, гр. БМ-186

Додаток Д

Складальний кресленик друкованої плати

Додаток Е

Специфікація

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			08-39.БДР.040.04.000 СК	Складальне креслення плати	1	
A1			08-35.БДР.040.04.000 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4			08-35.БДР.040.04.000 ПЕЗ	Перелік елементів	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	08-35.БДР.040.04.001	Плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Діоди		
		8		КС147А	3	VD1. VD2. VD12
		4		КД521А	9	VD3-VD11
				Кварцові резонатори		
		14		РК-1	3	ZQ1-ZQ3
				Конденсатори		
				КМ-56 ОЖ0.460.171.ТУ		
		11		КМ-56-П33-33 пФ	6	C14-C16, C19, C25, C26
				КМ-56-П33-4300 пФ	1	C20
				КМ-56-Н90-0,1 мкФ	6	C3, C5, C17, C18, C21, C22
				Конденсатори		
				К53-16 ОЖ0.464.214.ТУ		
		22		К50-16-10мкФ-16В	2	C4, C9
				К50-16-100мкФ-16В	1	C24
				Конденсатори		
				К75-1а ОЖ0.467.256.ТУ		
		17		К73-17-Н90-0,68 мкФ	8	C1, C6-C8, C10-C13
				К73-17-Н90-1 мкФ	1	C23

08-35.БДР.040.04.001					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	
Розроб.		Кузнецов П.Г.			Розробка приладу для вимірювання кількості іонів в біологічних розчинах Специфікація
Перевір.		Коваль Л.Г.			
Реценз.					
Н. конт.		Коваль Л.Г.			
Затв.		Коваль Л.Г.			
					Літ. Аркуш Аркушів
					1 3
ВНТУ, гр. БМІ-196					

