

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет "Запорізька політехніка"**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до лабораторних робіт з дисципліни**  
**"Методи та засоби дослідження РЕЗ"**

для студентів спеціальності  
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми  
«Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні  
технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»)  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Поспеева І.Є., Щурова Л.С. – Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2019. – 73 с.

Укладачі: Поспеева Ірина Євгенівна, ст. викладач,  
Щурова Лариса Семенівна, зав. лаб. каф. ІТЕЗ

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук,  
доцент

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, доктор техн.  
наук, доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено  
на засіданні кафедри ІТЕЗ  
протокол № 1 від 28.08.19 р.

Рекомендовано до видання  
НМК ФРЕТ  
протокол № 1 від 02.09.19 р.

## ЗМІСТ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....                                                                                    | 5  |
| 1.1 Мета та завдання лабораторних робіт .....                                                                | 5  |
| 1.2 Загальні теоретичні відомості .....                                                                      | 5  |
| 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ .....                                               | 9  |
| 2.1 Теоретичні відомості.....                                                                                | 9  |
| 2.1.1 Планування випробувань.....                                                                            | 9  |
| 2.1.2 Програма випробувань.....                                                                              | 10 |
| 2.1.3 Загальні принципи проведення випробувань.....                                                          | 20 |
| 2.1.4 Методика випробувань .....                                                                             | 21 |
| 2.2 Завдання до роботи .....                                                                                 | 27 |
| 2.3 Порядок виконання роботи .....                                                                           | 27 |
| 2.4 Зміст звіту .....                                                                                        | 29 |
| 2.5 Контрольні запитання .....                                                                               | 29 |
| 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИПРОБУВАНЬ КОНСТРУКЦІЇ РЕЗ НА МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ ..... | 31 |
| 3.1 Теоретичні відомості.....                                                                                | 31 |
| 3.1.1 Вплив механічних факторів на РЕЗ .....                                                                 | 31 |
| 3.1.2 Види випробувань на механічні впливи.....                                                              | 31 |
| 3.1.3 Види та методи випробувань на вплив вібрації.....                                                      | 32 |
| 3.1.4 Обладнання для випробувань на вплив вібрації.....                                                      | 38 |
| 3.1.5 Види та методи випробувань на ударні впливи.....                                                       | 40 |
| 3.1.6 Обладнання для випробувань на ударні впливи.....                                                       | 46 |
| 3.2 Завдання до роботи .....                                                                                 | 49 |
| 3.3 Порядок виконання експериментальної частини .....                                                        | 49 |
| 3.4 Зміст звіту .....                                                                                        | 50 |
| 3.5 Контрольні запитання .....                                                                               | 50 |
| 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИПРОБУВАНЬ КОНСТРУКЦІЇ РЕЗ НА КЛІМАТИЧНІ ВПЛИВИ..... | 52 |
| 4.1 Теоретичні відомості.....                                                                                | 52 |
| 4.1.1 Вплив температури на працездатність РЕЗ.....                                                           | 52 |
| 4.1.2 Загальні відомості про випробування на вплив підвищеної та зниженої температури.....                   | 53 |
| 4.1.3 Обладнання для випробувань на температурні впливи .....                                                | 58 |
| 4.1.4 Вплив підвищеної вологості на працездатність РЕЗ.....                                                  | 61 |
| 4.1.5 Загальні відомості про випробування на вплив підвищеної вологості.....                                 | 63 |
| 4.1.6 Обладнання для випробувань на вплив підвищеної вологості.....                                          | 66 |
| 4.2 Завдання до роботи .....                                                                                 | 68 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Устаткування та прилади.....                      | 69 |
| 4.4 Порядок виконання експериментальної частини ..... | 69 |
| 4.5 Зміст звіту .....                                 | 70 |
| 4.6 Контрольні запитання .....                        | 71 |
| ЛІТЕРАТУРА .....                                      | 72 |

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Мета та завдання лабораторних робіт

**Мета лабораторних робіт** - формування у студентів навичок з планування та аналізу результатів випробувань РЕЗ з метою забезпечення і оцінки їх якості в процесі проектування і виробництва у відповідності до вимог, що пред'являються до конструкцій РЕЗ та технології їх виготовлення, а також здобуття практичних навичок у проведенні випробувань конструкцій РЕЗ на виявлення частот механічного резонансу і теплостійкості.

**Завдання лабораторних робіт** - набуття навичок планування випробувань РЕЗ, проведення самих випробувань на різні види зовнішніх впливів, а також обробки результатів випробувань.

Методичні вказівки сприяють набуттю знань в області методів і методик випробувань РЕЗ, розробки основних документів для проведення випробувань: програми і методики випробувань; обробки і аналізу результатів випробувань. Методичні вказівки дозволяють в результаті вивчення дисципліни набути вміння формувати пропозиції щодо складання програм випробувань РЕЗ, розробляти на основі технічних вимог до РЕЗ вимоги до випробувань з урахуванням впливу зовнішніх факторів. В результаті вивчення курсу «Методи та засоби дослідження РЕЗ» студент повинен набути навичок:

- планувати і проводити випробування РЕЗ;
- вибирати випробувальне обладнання;
- проводити випробування на механічні та кліматичні впливи;
- проводити обробку результатів випробувань.

### 1.2 Загальні теоретичні відомості

Якість РЕЗ забезпечується її конструкцією, технологією виготовлення й умовами виробництва. Етапи проектування і виробництва електронних засобів припускають одержання інформації про їхню якість на всіх стадіях – від початку проектування до виготовлення в серійному виробництві і наступній експлуатації.

Істотна роль у цьому процесі приділяється випробуванням.

Під **випробуванням** розуміють експериментальне визначення кількісних або якісних характеристик об'єкта як результату впливів на нього при його функціонуванні чи моделюванні заданих факторів.

Основні цілі випробувань:

- експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків, прийнятих допущень, заданих показників якості розроблених засобів, що працюють в умовах, близьких до експлуатаційних, а також одержання оцінок резервів підвищення показників якості і запасів надійності розробленого варіанта виробу;
- контроль умов виробництва, дотримання виконавцями вимог технічної документації;
- усунення дефектів взаємодії різних виробів у складі системи.

Проведення випробувань повинне виявляти:

- недоліки конструкції і технології виготовлення виробів, що не дозволяють їм виконувати цільову функцію в умовах експлуатації;
- відхилення від конструкції і технології, допущені виробництвом;
- приховані випадкові дефекти матеріалів, елементів конструкції, що не піддаються виявленню при існуючих методах технічного контролю;
- резерви підвищення якості і надійності розроблювального виробу.

Результати випробувань є основою рішень з використання електронних засобів, удосконалювання конструкції і технології їх виготовлення.

Усі фактори, що впливають на радіоелектронні засоби, класифікуються за характером їх походження на дві групи: об'єктивні і суб'єктивні (див. рис. 1.1).

До об'єктивних відносяться фактори, що характеризують вплив зовнішніх умов, тобто умов, у яких здійснюється збереження, транспортування й експлуатація РЕЗ. Суб'єктивні фактори обумовлені дією людини на етапах проектування, виробництва й експлуатації РЕЗ.

Усі види впливів на РЕЗ можна класифікувати за джерелом їх виникнення на зовнішні і внутрішні (див. рис. 1.2).

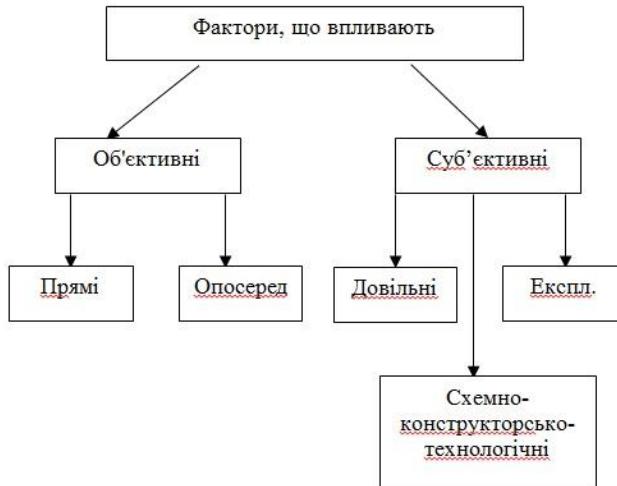


Рисунок 1.1 – Класифікація факторів, що впливають на РЕЗ

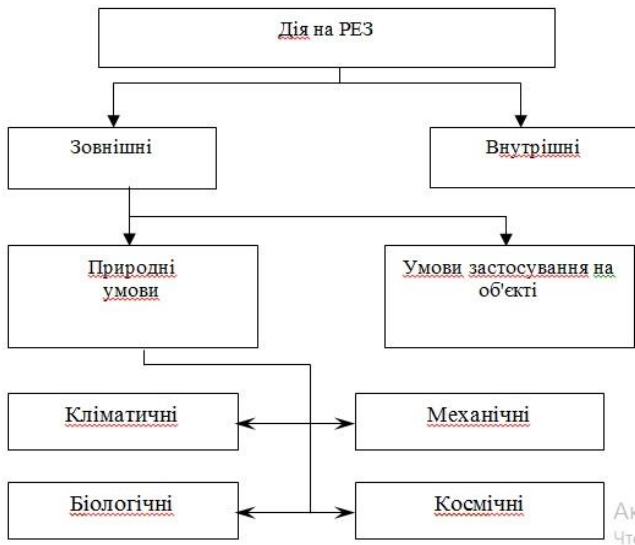


Рисунок 1.2 - Класифікація впливів на РЕЗ

Зовнішні впливи за первісними причинами їх виникнення розділяють на впливи природних умов і впливи умов застосування РЕЗ на об'єкті. Під природними умовами розуміють комплекс кліматичних, механічних, біологічних і космічних впливів, обумовлених станом навколишнього середовища в місці перебування РЕЗ.

Під умовами застосування РЕЗ на об'єкті розуміють впливи, пов'язані з функціонуванням об'єкта, у складі якого знаходиться даний РЕЗ. Це можуть бути впливи механічні, теплові, тиском, електричними і магнітними полями та ін.

Внутрішні впливи на РЕЗ проявляються через електричні і механічні навантаження, обумовлені функціонуванням апаратури.

Електричні навантаження обумовлені необхідністю формування і перетворення електричного сигналу в ланцюгах, подачі напруг живлення, що забезпечують нормальну роботу РЕЗ, тощо.

Механічні навантаження пов'язані з застосуванням у РЕЗ пружинних перемикачів, п'єзоперетворювачів, контактних з'єднань.

Механічні і теплові впливи на роботу РЕЗ будуть розглянуті в лабораторних роботах 2 і 3.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ

### Мета роботи:

- ознайомитись зі структурою і змістом програми випробувань (ПВ), та методики випробувань (МВ), отримати практичні навички складання цих документів для радіоелектронних засобів (РЕЗ) різних типів;
- ознайомитись з різними методами випробувань РЕЗ, отримати практичні навички вибору режимів та технічних засобів для їх реалізації.

### 2.1 Теоретичні відомості

#### 2.1.1 Планування випробувань

Проведенню випробувань передуює етап планування. В результаті планування випробувань визначають види випробувань, обсяг досліджуваних партій, вибірок; норми і допуску на контрольовані параметри, правила прийняття рішення.

Планування випробувань має на меті оптимізувати експеримент з контролю властивостей об'єкта випробувань. Оптимізація випробувань може проводитися за різними критеріями. Головними критеріями є достовірність оцінки властивостей об'єкта випробувань або економічна ефективність випробувань.

В результаті планування необхідно відповісти на питання: чи доцільно проведення випробувань і, якщо випробування проводити доцільно, якими мають бути характеристики плану випробувань.

Доцільність проведення випробувань можна визначити, виходячи з очікуваного економічного ефекту.

Проведення випробувань доцільне, якщо виконується умова:

$$\frac{\Delta n \cdot c_0}{\Delta N \cdot C_{\text{виг}} + \bar{N}_{\text{випр}}} > 1$$

де:  $\Delta n$  - величина, на яку зменшиться число відмов у споживача при введенні випробуванні;

$c_0$  - вартість відмови (витрати на виявлення відмови, ремонт, ліквідацію наслідків відмови);

$\Delta N$  - зростання числа забракованих виробів при введенні випробування;

$C_{виг}$  - вартість виготовлення одного виробу, що відмовить;

$N_{випр}$  - вартість випробування.

### 2.1.2 Програма випробувань

Основним організаційно-методичним документом при конкретних випробуваннях РЕЗ є програма та методика випробувань (ПВ). Її зміст та вимоги до оформлення наведені у стандарті [6].

ПВ регламентує цілі випробувань, обсяг і методику досліджень, що проводяться, порядок, умови, місце і терміни проведення випробувань, відповідальність за забезпечення та проведення випробувань, відповідальність за оформлення протоколів і звітів.

У ПВ в короткій формі викладається інформація про об'єкт випробування (термін його виготовлення, номер паспорта, особливості конструкції і технології виготовлення і т. ін.), а також параметри, що підлягають прямому чи непрямому вимірюванню, критерії придатності виробу РЕЗ, вимоги до зовнішнього вигляду і електричні параметри.

На титульному аркуші ПВ розміщують: найменування програми, назву теми, за якою ведеться розробка виробу; погоджуючі та затверджуючі програму підписи керівників організації-розробника РЕЗ і, при необхідності, представника замовника.

Програма випробувань складається з шести розділів.

#### 2.1.2.1 Розділ 1. Об'єкт випробувань

Він включає в себе найменування, децимальний номер, заводський номер, дату випуску об'єкта випробувань.

При складанні **розділу 1** слід враховувати, що за результатами випробувань об'єкта приймається те чи інше рішення щодо його придатності або бракування, пред'явлення на наступні випробування або можливості серійного випуску.

Об'єктами випробувань можуть бути: макети, моделі, експериментальні зразки виробів, виготовлені при виконанні науково-дослідних робіт (НДР) на етапах проектування; дослідні зразки

виробів, виготовлені при виконанні дослідно-конструкторських робіт (ДКР); зразки, виготовлені при впровадженні або освоєнні виробу у виробництві; зразки, виготовлені в ході встановленого серійного чи масового виробництва.

Випробуванням піддають вироби, відповідні НТД з конструкції, зовнішнього вигляду, а також параметрів, що визначаються при нормальних кліматичних умовах (НКУ).

Вироби необхідно випробувати в тому вигляді та стані, в якому вони будуть реально експлуатуватися, транспортуватися, зберігатися.

Якщо складові частини виробу при монтажу, транспортуванні та експлуатації знаходяться в неоднакових умовах, їх можна випробувати окремо відповідно до умов експлуатації кожної частини. У цьому випадку допускається також проводити випробування виробу в цілому, але за програмою, яка враховує умови експлуатації.

Якщо масогабаритні характеристики виробу не дозволяють випробувати його в умовах лабораторії, то необхідну інформацію про працездатність і збереження зовнішнього вигляду після впливу об'єктивних факторів отримують за результатами аналізу випробування складових частин виробу.

Якщо конструктивно виріб не може бути розділений на складові частини, то випробування (окремі види випробувань) слід проводити за програмою, яка враховує реальні умови експлуатації при необхідних значеннях факторів, що впливають. Допускається в цьому випадку випробувати також макети, якщо конструкція і технологія виготовлення макетів забезпечують їх подібність до реального виробу.

При випробуванні виробу за складовими частинами кріплення їх на стендах має виконуватися аналогічно кріпленню їх в реальній структурі конструкції виробу. При цьому повинні бути враховані впливи (теплові, механічні) складових частин виробу. Ступінь відповідності результатів випробування складових частин виробу або макетів результатам випробування реального виробу залежить від мети випробування, характеру і достовірності інформації про виріб.

Залежно від виду і етапу розробки РЕЗ об'єктом випробування може бути одиничний виріб або партія виробів, що піддається суцільному або вибірковому контролю, окремий зразок або партія, від якої береться вказана у НТД вибірка (проба).

Наприклад, на випробування пред'являється партія виробів об'ємом  $N$ . З цієї партії береться вибірка об'ємом  $n$ , яка проходить випробування. Результати випробувань вибірки поширюються на всю партію  $N$  виробів. У цьому випадку об'єктом випробувань є вся партія виробів.

Якщо об'єктом випробувань є макет або модель виробу, то результати випробувань відносяться безпосередньо до макету або моделі. Однак, якщо при випробуванні будь-якого виробу деякі його елементи заміняють моделями або окремі характеристики виробу визначають за моделями, то об'єктом випробувань залишається сам виріб, а оцінку характеристик цього виробу отримують на основі випробувань моделі.

При виборі об'єкта випробувань враховують такі вимоги:

- необхідність доказу працездатності виробу при обумовлених в НТД умовах експлуатації;
- необхідність підтвердження відповідності параметрів надійності виробу (виробів) значенням, що вимагаються НТД;
- мінімальна вартість випробувань (включаючи витрати на випробувальне обладнання);
- мінімальна тривалість випробувань;
- наявність відповідного обладнання та оснащення, що забезпечують проведення випробувань;
- необхідність забезпечення взаємозамінності окремих функціональних частин і блоків;
- можливість забезпечення оптимального контролю технологічних процесів;
- необхідність визначення параметрів надійності комплектуючих елементів, що застосовуються у виробі.

Слід зазначити суперечливий характер перших чотирьох вимог.

Так, при сучасних тенденціях мікромініатюризації комплектуючих виробів РЕЗ зростає трудомісткість повної перевірки їх працездатності.

Отримання більш об'єктивних показників надійності виробів пов'язане з ростом числа об'єктів і тривалості їх випробувань. Це також удорожчує випробування на надійність.

### 2.1.2.2 Розділ 2. Мета випробувань

У цьому розділі повинні бути сформульовані цілі випробувань, які можуть бути досить різноманітні.

Мета випробувань визначає всю програму випробувань.

Так, наприклад, **метою дослідних випробувань** може бути *експериментальна оцінка* впливу кліматичних і механічних факторів на стійкість електронної апаратури.

**З метою стабільності якості продукції та можливості продовження її випуску** проводять **періодичні випробування** продукції в обсязі і в терміни, встановлені нормативно-технічними документами. Цей вид контрольних випробувань проводиться щомісяця або щоквартально, а також на початку випуску апаратури або при поновленні виробництва, після тимчасового його припинення. Результати періодичних випробувань поширюються на всі партії, випущені протягом певного часу. Періодичні випробування включають в себе такі випробування, при яких виробляється частина ресурсу апаратури, наприклад, багаторазові удари, термоциклування тощо, тому вони завжди є вибірковими.

**Типові випробування** - це контрольні випробування продукції, що випускається, які проводяться з **метою оцінки ефективності та доцільності внесених змін** в конструкцію або технологічний процес.

Цілі випробувань розкривають їх призначення і повинні бути відображені у назві випробувань. Тому, щоб сформулювати назву випробувань, необхідно встановити їх призначення, тобто визначити за метою випробувань, до якої з чотирьох груп (дослідні, контрольні, порівняльні, визначальні) їх можна віднести.

У назві випробувань повинні бути враховані і інші ознаки виду випробувань (тривалість, вид і результат впливу та ін.).

Назва випробувань може містити два і більше ознак з числа перерахованих, наприклад, дослідні лабораторні випробування експериментальних зразків приймальної апаратури на вплив механічних і кліматичних факторів.

### **2.1.2.3 Розділ 3. Обґрунтування необхідності проведення випробувань**

У цьому розділі вказуються документи, в яких регламентована необхідність проведення випробувань (технічне завдання, технічні умови тощо).

### **2.1.2.4 Розділ 4. Місце проведення та забезпечення випробувань**

Цей розділ містить найменування підрозділу, в якому проводяться випробування, наприклад, відділ випробувань.

Тут також вказується час і дата початку та закінчення випробувань, а також наводиться план робіт з підготовки і проведення випробувань.

План робіт містить перелік робіт, необхідних для проведення випробувань: виготовлення зразків, приймання зразків відділом технічного контролю (ВТК), вимірювання і визначення параметрів зразків перед випробуваннями, підготовка пристроїв для випробувань, проведення випробувань, оформлення результатів випробувань, погодження та затвердження протоколу випробувань та ін.

### **2.1.2.5 Розділ 5. Обсяг і методика випробувань**

Цей розділ складається з двох підрозділів.

**У першому підрозділі** вказуються умови випробувань (кількість зразків, розподіл їх на групи, послідовність проходження випробувань різними групами за видами впливів), обладнання.

Під умовами випробувань розуміють сукупність впливів на об'єкт і режими його функціонування.

Умови випробувань характеризуються впливом на об'єкт як об'єктивних, так і суб'єктивних факторів.

Оскільки основне завдання випробувань полягає в отриманні інформації про потенційно ненадійні вироби, вибору факторів, що впливають, надається першочергове значення.

При цьому необхідно враховувати: етап проектування або тип виробництва, призначення РЕЗ, рівень декомпозиції об'єкта випробувань, категорію (об'єкт установки) РЕЗ, зовнішні дестабілізуючі фактори.

Основні принципи вибору факторів, що впливають, наступні:

- адекватність умов випробувань умовам експлуатації;
- врахування механізмів старіння або розвитку відмови;
- врахування потенційної ненадійності елементів конструкції.

Види основних кліматичних і біологічних випробувань, яким піддаються вироби РЕЗ, наведені в табл. 2.1, механічних випробувань - в табл. 2.2.

Позначення «+» означає, що випробування проводять; «-» - випробування не проводять; «в» - випробування можуть бути проведені, якщо це передбачено нормативно-технічною документацією на виріб.

Для кожної конкретної конструкції необхідно вибирати номенклатуру зовнішніх впливів, характерну для умов експлуатації, щоб забезпечити адекватність умов випробувань умовам експлуатації.

При експлуатації, як правило, має місце більш жорсткий вплив на РЕЗ в порівнянні зі стендовими або лабораторними випробуваннями. Тому для випробувань слід вибирати значення зовнішніх впливів, які перевищують характерні значення для нормальних умов експлуатації.

Найбільш ефективно виявити потенційно ненадійні вироби дозволяють удари, тепло, волога і електричні навантаження. Випробування на вібрацію є засобом контролю якості РЕЗ після складання.

У табл. 2.3 у якості прикладу наведені види випробувань, що проводяться у одному з випробувальних центрів сертифікації радіоелектронної техніки з вказівкою обладнання для випробувань.

**Другий підрозділ** включає відомості про контрольовані параметри виробу із зазначенням документації, за якою потрібно виміряти або визначити ці параметри.

#### **2.1.2.6 Розділ 6. Оформлення результатів випробувань**

Тут регламентується форма подання звітності за результатами випробувань: протокол, звіт, технічна довідка.

За результатами випробувань складається зведена відомість відмов, та на основі її аналізу розробляється та впроваджується комплекс заходів з їх усунення.

Таблиця 2.1 - Види основних кліматичних та біологічних випробувань

| Вид випробувань                 | Склад випробувань                           |                            |
|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
|                                 | Етап розробки (ДКР).<br>Типові випробування | Періодичні<br>випробування |
| Теплостійкість                  | +                                           | +                          |
| Холодостійкість                 | +                                           | +                          |
| Вологостійкість<br>тривала      | +                                           | В                          |
| Вологостійкість<br>короткочасна | +                                           | +                          |
| Знижений<br>атмосферний тиск    | +                                           | В                          |
| Підвищений<br>атмосферний тиск  | +                                           | В                          |
| Вплив сонячної<br>радіації      | +                                           | -                          |
| Вплив соляного<br>туману        | +                                           | -                          |
| Вплив пилу та піску             | +                                           | -                          |
| Вплив інею та роси              | +                                           | -                          |
| Термоудар                       | +                                           | +                          |
| Грибостійкість                  | +                                           | -                          |

Таблиця 2.2 - Види основних механічних випробувань

| Вид випробувань                                      | Склад випробувань                           |                            |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
|                                                      | Етап розробки (ДКР).<br>Типові випробування | Періодичні<br>випробування |
| Випробування на<br>знаходження<br>резонансних частот | +                                           | -                          |
| Вібростійкість                                       | в                                           | +                          |
| Віброміцність<br>тривала                             | +                                           | в                          |
| Віброміцність<br>короткочасна                        | -                                           | в                          |
| Ударна стійкість                                     | +                                           | -                          |
| Ударна міцність                                      | +                                           | -                          |
| Випробування на<br>вплив одиночних<br>ударів         | +                                           | -                          |
| Випробування на<br>вплив лінійних<br>прискорень      | +                                           | -                          |
| Випробування на<br>вплив акустичного<br>шуму         | +                                           | -                          |

Таблиця 2.3 - Види випробувань та характеристики випробувального обладнання

| Вид випробування                               | Загальні технічні характеристики випробувального обладнання | Типи обладнання      |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Випробування на механічні впливи</b>        |                                                             |                      |
| Вібрації                                       | Частоти 10...10000 Гц                                       | УВЭ-1/10000          |
|                                                | Макс. віброприскорення до 40 g                              | УВЭ-1/004            |
|                                                | Вантажопідйомність до 5 кг                                  | УВЭ-5/10000          |
| Механічні поодинокі удари                      | Пікове ударне прискорення 1500...50000 g                    | К-5/3000             |
|                                                | Тривалість ударного імпульсу 0,1...1,0 мс                   | К-0,1/10000          |
| Багаторазові удари                             | Пікове ударне прискорення 5...150 g                         | К-0,1/50000          |
|                                                | Тривалість ударного імпульсу 1...20 мс                      | УУЭ-20/200           |
| Лінійні прискорення                            | Постійне лінійне прискорення за вісями X, Y, Z - 50000 g    | G-385-1В             |
| Акустичні впливи                               | Частоти 125...10000 Гц<br>Рівень звукового тиску до 160 дБ  | АУ-1                 |
| <b>Випробування на кліматичні впливи</b>       |                                                             |                      |
| Підвищена температура                          | Температури від НКУ до +350°C                               | КТ-0,4-350           |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,5 м <sup>3</sup>             | 12КТ-0063-026        |
| Знижена температура                            | Температури від НКУ до -85°C                                | VMТ07/64             |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,4 м <sup>3</sup>             | МС-81                |
| Зміна температур                               | Діапазон температур від -65°C до +200°C                     | 12КТЦ-65/200         |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,02 м <sup>3</sup>            |                      |
| Підвищена вологість при підвищеній температурі | Діапазон температур від +40°C до +90°C                      | 12КТВГ-0,4-0,01      |
|                                                | Відносна вологість до 95%                                   |                      |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,4 м <sup>3</sup>             |                      |
| Соляний туман                                  | Діапазон температур від +25°C до +90°C                      | 12КТМТ-0,4-001       |
|                                                | Дисперсність туману 1...10 мкм                              |                      |
|                                                | Водність аерозолу 2...3 г/м <sup>3</sup>                    |                      |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,4 м <sup>3</sup>             |                      |
| Сонячна радіація                               | Діапазон температур від +50°C до +70°C                      | КСР-1                |
|                                                | Щільність випромінювання 1120 Вт/м <sup>2</sup>             |                      |
|                                                | У УФ-частині спектру 68 Вт/м <sup>2</sup>                   |                      |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,4 м <sup>3</sup>             |                      |
| Динамічний пил                                 | Діапазон температур від +25°C до +60°C                      | КП-3-0,5М            |
|                                                | Швидкість обдуву 15 м/с                                     |                      |
| Статичний пил                                  | Діапазон температур від +25°C до +60°C                      | КП-016-001           |
|                                                | Швидкість обдуву 0,5 м/с                                    |                      |
| Дош                                            | Інтенсивність дощу 3...110 мм/хв.                           | КД-0,4<br>12КТХБ-0,4 |
|                                                | Максимальний об'єм камери до 0,4 м <sup>3</sup>             |                      |
| Цвіліві гриби                                  | Температура +29°C<br>Відносна вологість до 100%             | Термостатна кімната  |

### 2.1.2.7 Загальні вимоги до ПВ

Номенклатура та зміст загальних вимог до ПВ в залежності від етапів проведення оформлюються у вигляді карти проведення випробувань.

Приклад карти проведення випробувань для етапу проектування виробів наведений у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Карта проведення випробувань на етапі проектування

| Розділ ПВ                                | Випробування                                                                                                   |                                                               |                                                                                       |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          | дослідні доводжувальні                                                                                         | контрольні попередні                                          | контрольні приймальні                                                                 |
| Мета випробувань                         | Оцінка впливу змін, внесених у конструкцію та технологію виготовлення об'єкта для досягнення показників якості | Визначення можливості пред'явлення на приймальні випробування | Вирішення питання запуску продукції у виробництво або використання її за призначенням |
| Обсяг випробувань                        | Визначається головним конструктором                                                                            | Визначається НТД                                              | Дослідна партія                                                                       |
| Вироби, що випробуються                  | Макетні зразки                                                                                                 | Експеримент. зразки дослідного виробництва                    | Вироби дослідної партії                                                               |
| Технічна документація                    | Ескізи, технічна записка про проведення випробувань                                                            | Затверджена КД                                                | Затверджена КД, ТУ, МВ                                                                |
| Методика випробувань                     | Задається завданням на випробування                                                                            | Методика згідно з НТД                                         | Методика згідно з НТД                                                                 |
| Документація на випробувальне обладнання | -                                                                                                              | Атестоване обладнання                                         | Атестоване обладнання                                                                 |
| Звітність                                | Службовий зошит, технічний звіт                                                                                | Звіт з даними про випробування                                | Звіт з результатами випробувань та короткі висновки                                   |

### 2.1.3 Загальні принципи проведення випробувань

Існують такі способи проведення випробувань:

- послідовний;
- паралельний;
- послідовно-паралельний;
- комбінований.

**При послідовному способі** один і той же об'єкт випробування послідовно піддається всім передбаченим програмою видам випробувань.

Важливою умовою проведення послідовних випробувань є дотримання певного порядку дії зовнішніх факторів.

Іноді при складанні програми передбачають таку послідовність зовнішніх факторів на об'єкт, згідно з якою на початку діють ті зовнішні фактори, що найбільш сильно впливають на даний об'єкт. Це робиться для якнайшвидшого виявлення потенційно ненадійних зразків з метою скорочення часу випробувань. Однак при цьому втрачається велика частина інформації про вплив інших факторів, яка могла б бути отримана при їх впливі.

Тому частіше на практиці рекомендується починати випробування з впливу на РЕЗ найменш жорстких факторів, при яких вплив буде найменшим. Такий спосіб випробувань дозволяє точніше визначити причини відмов і скласти більш повну картину про наявність в РЕЗ потенційних дефектів. З іншого боку, якщо найбільш небезпечні для об'єкта зовнішні впливові фактори розташувати в кінці послідовних випробувань, то значно збільшується час їх проведення.

**При паралельному способі** проведення випробувань зразок піддається одночасному впливу різних зовнішніх факторів, що впливають одночасно (паралельно) на декількох вибірках. Такий спосіб дозволяє отримати великий обсяг інформації за значно коротший проміжок часу, ніж при послідовному способі, при мінімальному зношенні зразків.

Однак паралельний спосіб вимагає істотно більшого числа випробовуваних виробів, ніж послідовний.

Компромісним між послідовним і паралельним способами проведення випробувань є **послідовно-паралельний спосіб**, що дозволяє в кожному конкретному випадку більш ефективно

використовувати переваги того чи іншого способу і знаходити найоптимальніші варіанти їх поєднання.

При послідовно-паралельному способі усі вироби, відібрані для випробувань, розбиваються на кілька груп, які випробовуються паралельно. У кожній з груп випробування проводять послідовним способом.

При цьому всі види випробувань також повинні бути розбиті на групи, число яких дорівнює числу груп випробовуваних виробів.

За своїм складом групи випробувань формуються за видами випробувань з тих міркувань, щоб, з одного боку, тривалість випробувань у всіх групах була приблизно однаковою, а з іншого щоб умови проведення об'єднаних в одну групу видів випробувань були близькі до реальних.

Один з прикладів можливого групування видів випробувань та послідовність їх проведення в кожній групі наведені у табл. 2.5.

Можливі також і складніші схеми проведення випробувань, які об'єднують різні способи. Прикладом може служити схема випробувань керамічних конденсаторів, яка приведена у табл. 2.6.

**При комбінованому способі** проведення випробувань зразок піддається одночасному впливу декількох зовнішніх факторів, наприклад, випробування на підвищену температуру та вологість, або на знижений тиск та підвищену температуру. Ці випробування дають більш об'єктивні результати, оскільки вони більш наближені до реальних умов експлуатації, але потребують складного технічного обладнання.

#### **2.1.4 Методика випробувань**

**Методика випробувань** - це організаційно-методичний документ, обов'язковий для виконання, в якому формулюються:

- метод випробувань,
- засоби і умови випробувань,
- порядок відбору вибірок,
- алгоритми виконання операцій по визначенню однієї або декількох характеристик виробу, що випробовується;
- форми представлення даних і оцінки точності та достовірності результатів;
- вимоги техніки безпеки і охорони довкілля.

Таблиця 2.5 - Приклад групування різних видів випробувань при послідовно-паралельному способі їх проведення

| Група | Види випробувань                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 1. Вібростійкість<br>2. Віброміцність при тривалому впливі<br>3. Ударна міцність<br>4. Ударна стійкість<br>5. Стійкість до впливу відцентрового прискорення<br>6. Вплив одиночних ударів з великим прискоренням<br>7. Циклічний вплив температури<br>8. Вплив сонячної радіації |
| 2     | 1. Теплотривкість при тривалому впливі<br>2. Вплив морського туману                                                                                                                                                                                                             |
| 3     | 1. Вологостійкість при тривалому впливі<br>2. Холодостійкість<br>3. Вплив інею і роси                                                                                                                                                                                           |
| 4     | 1. Грибостійкість                                                                                                                                                                                                                                                               |

Таблиця 2.6 - Схема випробувань керамічних конденсаторів

| Група | Склад випробувань                                          |                    |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1     | 50% вибірки                                                | 50% вибірки        |
|       | 1 Міцність виводів                                         | 1 Зміна температур |
|       | 2 Паяємість                                                | 2 Віброміцність    |
|       |                                                            | 3 Ударна міцність  |
|       | 100% вибірки                                               |                    |
|       | 1 Теплостійкість                                           |                    |
|       | 2 Вологостійкість (короткочасні, перший цикл)              |                    |
|       | 3 Холодостійкість                                          |                    |
|       | 4 Знижений атмосферний тиск                                |                    |
|       | 5 Вологостійкість (короткочасні, інші цикли)               |                    |
| 2     | 1 Вологостійкість (тривалі випробування)                   |                    |
| 3     | 1 Перевірка (температурного коефіцієнта ємності (ТКЄ))     |                    |
| 4     | 1 Випробування на термін служби при підвищеній температурі |                    |

Методика випробувань визначає процес (технологію) проведення випробувань. Методика випробувань може бути викладена в самостійному документі або в програмі випробувань.

Основна вимога до методики випробувань - забезпечення максимальної ефективності процесу випробувань і мінімальних похибок результатів. Вона включає вимоги до методу і умов випробувань та технічних засобів.

**Метод випробувань** - сукупність правил застосування певних принципів і засобів для реалізації випробувань, що дозволяють визначити перевірку виробів на відповідність вимог НТД.

При виборі методу враховують конструктивно-технологічні особливості виробів, норми на контрольовані параметри, точність вимірювань, вимоги безпеки проведення випробувань.

У методах випробувань конкретних РЕЗ повинні бути передбачені впливи на вироби об'єктивних факторів (прямих і непрямих) за нормами, встановленими НТД.

Для більшості випробувань дестабілізуючі фактори і їх значення розбивають на ступені жорсткості, що відповідають різним умовам експлуатації РЕЗ. Ці ступені позначаються арабськими або (частіше) римськими числами.

Всі випробування повинні забезпечувати мінімальні витрати при максимальному технічному ефекті. Орієнтовний розподіл витрат за видами випробувань наведений у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Розподіл витрат за видами випробувань

| Вид випробування              | Доля у варт. усіх випр., % | Вид випробування             | Доля у варт. усіх випр., % |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Визначення резонансних частот | 2,4                        | Вологостійкість короткочасна | 2,7                        |
| Вібростійкість                | 3,2                        | Вологостійкість тривала      | 3,6                        |
| Віброміцність                 | 5,0                        | Вплив підвищеного тиску      | 0,8                        |
| Ударна міцність               | 0,5                        | Вплив зниженого тиску        | 0,9                        |
| Випадкова вібрація            | 5,7                        | Вплив сонячної радіації      | 2,7                        |
| Вплив одиночних ударів        | 1,7                        | Термоудар                    | 4,7                        |
| Вплив лінійних прискорень     | 0,7                        | Грибостійкість               | 1,7                        |
| Холодостійкість               | 0,7                        | Вплив соляного туману        | 2,4                        |
| Теплостійкість                | 0,7                        | Надійність                   | 7,5                        |
| Термоцикування                | 3,6                        | Довговічність                | 49,0                       |

Зміст методики випробувань можна представити у вигляді схеми (див. рис.2.1).

У методиці випробувань передбачений опис наступних етапів процесу випробувань:

- перевірка пристроїв для випробувань;
- підготовка виробів до випробувань;
- спільна перевірка пристроїв для випробувань і виробів, що випробуються;
- реєстрація результатів випробувань і даних про умови їх проведення.

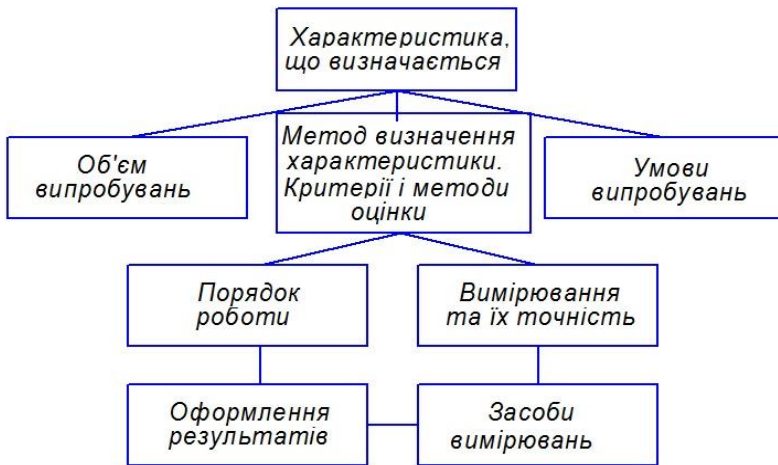


Рисунок 2.1 - Схема змісту методики випробувань

**Перевірка пристроїв для випробувань** і підготовка їх до випробувань мають вирішальне значення для успішного проведення випробувань.

За технічними можливостями пристрої для проведення випробувань повинні відповідати етапам життєвого циклу виробів. При цьому вимоги до характеристик цих пристроїв підвищуються з переходом від етапу проектування РЕЗ до експлуатації.

Засоби випробувань повинні бути атестовані, повинні бути визначені характеристики їх точності і придатність до роботи.

**Підготовка виробів до випробувань** включає вибір параметрів, що характеризують якість виробів, їх зовнішній огляд і вимірювання параметрів якості.

При виборі параметрів, що підлягають вимірам і контролю в процесі випробувань, необхідно виходити з вимог їх максимальної інформативності, чутливості до впливів і об'єктивній оцінці якості випробовуваних РЕЗ. Раціональний вибір обмеженого числа інформативних параметрів, критичних до впливу об'єктивних факторів, скорочує обсяг вимірювань при випробуваннях, отже, вартість випробувань.

Перед початком випробувань вироби необхідно витримати в нормальних кліматичних умовах (температура повітря  $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 45...75%, тиск навколишнього середовища  $0,86...1,06 \times 10^5$  Па) протягом часу, необхідного для стабілізації параметрів.

У нормальних кліматичних умовах проводять зовнішній огляд і початкові вимірювання параметрів. Дані первинних вимірювань і контролю зовнішнього вигляду необхідно аналізувати, щоб встановити відповідність параметрів виробів вимогам НТД і відрізнити особливості кожного виробу (дефекти зовнішнього вигляду, нестійкість електричних параметрів).

При випробовуваннях послідовно-паралельним способом вироби необхідно розподілити за групами, підгрупами. Такий розподіл виробляють випадковим методом.

Всі вироби до постановки їх на випробування потрібно промаркувати.

**Спільна перевірка пристроїв для випробувань і виробів, що випробовуються**, повинна показати, чи виконують пристрої для випробувань свої функції в процесі випробувань виробів. Така перевірка особливо важлива, якщо пристрої вперше застосовують для випробувань даних виробів.

Перевірку пристроїв для випробувань РЕЗ проводять або з макетним зразком, або з самим виробом.

В результаті перевірки переконуються в тому, що з їх допомогою можна виміряти і контролювати всі необхідні за НТД параметри виробу, що випробовується, у встановленій послідовності і із заданою точністю.

Параметри пристроїв спочатку вимірюють без об'єкта випробувань при послідовному включенні всіх частин випробувальної системи, а потім з об'єктом випробувань.

Під час цих випробувань перевіряють методику калібрування пристроїв з внесенням до неї поправок в ході випробувань.

Кожен тип РЕЗ випробовується за своєю методикою, яка встановлює порядок, умови, технологію випробувань, точність вимірювань в процесі випробувань, число циклів випробувань, перелік обладнання для випробувань.

Перерва між випробуваннями повинна бути не більше трьох діб, за винятком випробувань на вологостійкість і холодостійкість, де перерва не повинна бути більше двох годин.

Один з варіантів рекомендованої нормованої послідовності кліматичних та механічних випробувань наведений у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 - Нормована послідовність кліматичних та механічних випробувань РЕЗ

| Випробування                                                                                                                         | Пояснення                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| А. Холод<br>В. Сухе тепло<br>N. Швидка зміна температури                                                                             | Кліматичне випробування може викликати механічні напруги, які можуть зробити зразок більш чутливим до подальших випробувань.                                                                                                                                       |
| Е. Удар<br>F. Вібрація                                                                                                               | Випробування можуть викликати механічні напруги, що призводять до негайної відмови зразка або підвищення його чутливості до подальших дослідів.                                                                                                                    |
| М. Атмосферний тиск<br>Db. Вологе тепло (12 + 12- часовий цикл)<br>С. Вологе тепло (постійний режим)<br>К. Корозія<br>L. Пил і пісок | Застосування випробувань може виявити температурні і механічні напруження, які виникають в процесі попередніх випробувань.<br>Застосування випробувань може посилити результат впливу температурних і механічних напружень, викликаних попередніми випробуваннями. |
| Проникнення твердих частинок.<br>Проникнення води, (наприклад дощу)                                                                  | Повинні використовуватися випробування за МЕК 529 до завершення роботи                                                                                                                                                                                             |

## **2.2 Завдання до роботи**

Для заданого згідно з варіантом типу радіоелектронного засобу (РЕЗ) визначити програму випробувань (дослідних, періодичних і ін.) при зазначених умовах експлуатації та розробити методику випробувань.

## **2.3 Порядок виконання роботи**

2.3.1 Проаналізувати об'єкт випробувань на основі даних з технічного завдання, наведених у табл. 2.9.

2.3.2 Класифікувати об'єкт, визначивши його клас, групу, підгрупу використання та групу виконання, а також кліматичне виконання та категорію розміщення. При цьому користатися стандартами [7] - [9].

2.3.3 На основі вихідних даних визначити мету випробувань та об'єм випробувань.

2.3.4 Для заданого кліматичного виконання та категорії розміщення за допомогою стандарту [8] визначити граничні значення кліматичних факторів (температури, вологості, тиску). Необхідні види випробувань на кліматичні впливи та методи їх проведення визначити за допомогою стандартів [7], [9] - [11].

В залежності від підгрупи використання за допомогою стандартів [7], або [9] визначити групу виконання, а для неї - граничні значення механічних факторів. Необхідні види випробувань на механічні впливи та методи їх проведення визначити за допомогою стандартів [7], [9] - [11].

2.3.5 Проаналізувати види випробувань для запропонованого об'єкту і вибрати схему проведення випробувань та їх послідовність. Обґрунтувати вибір.

2.3.6 Для двох видів випробувань (на механічні та кліматичні впливи) за вказівкою викладача знайти у відповідній НТД номери та описи методів проведення випробувань і підібрати для них технічне обладнання й устаткування. При цьому користуватися стандартами [7], [9] - [11], каталогами [12], [13], а також будь-якими інтернет-ресурсами.

Таблиця 2.9 - Вихідні дані до роботи

| Варіант | Об'єкт                                     | Стадія проведення випробувань | Додаткові вимоги    |
|---------|--------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1       | музичний центр                             | ДКР                           | підвищена якість    |
| 2       | системний блок комп'ютера                  | крупносерійне виробництво     | мінімальний час     |
| 3       | MP3 плеєр                                  | масове виробництво            | мінімальна вартість |
| 4       | радіостанція професійна бортова (В4)       | дрібносерійне виробництво     | підвищена якість    |
| 5       | телевізор                                  | ДКР                           | мінімальний час     |
| 6       | ноутбук                                    | крупносерійне виробництво     | мінімальна вартість |
| 7       | радіостанція професійна штабна (С1)        | дрібносерійне виробництво     | мінімальний час     |
| 8       | DVD-плеєр                                  | масове виробництво            | мінімальна вартість |
| 9       | планшет                                    | ДКР                           | підвищена якість    |
| 10      | автомат управління вуличним освітленням    | дрібносерійне виробництво     | мінімальна вартість |
| 11      | осцилограф                                 | одиничне виробництво          | мінімальний час     |
| 12      | радіостанція професійна індивідуальна (Н7) | крупносерійне виробництво     | підвищена якість    |
| 13      | мобільний телефон                          | масове виробництво            | мінімальна вартість |
| 14      | "автосторож"                               | ДКР                           | мінімальний час     |
| 15      | радіостанція професійна індивідуальна (Р6) | одиничне виробництво          | підвищена якість    |

## **2.4 Зміст звіту**

2.4.1 Мета роботи.

2.4.2 Аналіз вихідних даних та результати класифікації об'єкта.

2.4.3 Перелік дестабілізуючих факторів, що діють на об'єкт, та необхідних випробувань.

2.4.4 Мета випробувань.

2.4.5 Об'єм випробувань.

2.4.6 Спосіб, схема та послідовність проведення випробувань та їх обґрунтування.

2.4.7 Висновки.

## **2.5 Контрольні запитання**

2.5.1 Мета планування випробувань.

2.5.2 Критерії оптимізації випробувань. Умова доцільності випробувань.

2.5.3 Програма випробувань - основне призначення та зміст.

2.5.4 Об'єкт випробувань.

2.5.5 Мета випробувань, від чого вона залежить?

2.5.6 Види випробувань в залежності від мети.

2.5.7 Місце проведення випробувань та їх забезпечення.

2.5.8 Обсяг і методика випробувань.

2.5.9 Види основних кліматичних випробувань.

2.5.10 Види основних механічних випробувань.

2.5.11 Послідовний спосіб проведення випробувань. Його переваги та недоліки.

2.5.12 Вибір порядку дії факторів при послідовному способі проведення випробувань.

2.5.13 Паралельний спосіб проведення випробувань. Його переваги та недоліки.

2.5.14 Послідовно-паралельний спосіб проведення випробувань, його суть, особливості.

2.5.15 Принципи формування груп при послідовно-паралельному способі проведення випробувань.

2.5.16 Методика випробувань, її мета та склад.

2.5.17 Схема змісту методики випробувань.

2.5.18 Що таке метод випробувань? За яких умов він вибирається?

2.5.19 Вимоги до пристроїв для випробувань.

2.5.20 Для чого проводиться спільна перевірка пристроїв для випробувань і виробів, що випробуються?

2.5.21 Що таке ступінь жорсткості випробувань? Від чого вона залежить?

2.5.22 В чому полягає підготовка виробів до випробувань?

## **3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИПРОБУВАНЬ КОНСТРУКЦІЇ РЕЗ НА МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ**

### **Мета роботи:**

- ознайомлення з видами та методами випробувань на механічні впливи: на виявлення резонансних частот, вплив вібрацій та ударів;
- ознайомлення з принципом роботи та будовою випробувального обладнання та контрольно-вимірювальної апаратури;
- одержання практичних навичок у визначенні частот механічного резонансу пристосування (пластини).

### **3.1 Теоретичні відомості**

#### **3.1.1 Вплив механічних факторів на РЕЗ**

У залежності від свого призначення РЕЗ може піддаватися різним механічним впливам.

Основними механічними навантаженнями для РЕЗ при експлуатації є вібраційні, ударні впливи, лінійні прискорення, а також звуковий тиск.

Одним із найнебезпечніших видів механічних впливів, що до того ж найчастіше зустрічається на практиці, є вібрація. У загальному випадку під вібрацією РЕЗ розуміють коливання самого об'єкту чи будь-яких частин його конструкції. Вібрація викликає механічні напруження і деформацію як комплектуючих виробів, так і елементів конструкції РЕЗ.

#### **3.1.2 Види випробувань на механічні впливи**

Механічні випробування РЕЗ дозволяють виявити наявність дефектів, визначити динамічні характеристики випробовуваних виробів, провести оцінку впливу конструктивних факторів на параметри якості РЕЗ, перевірити відповідність параметрів виробу при механічних впливах вимогам ТУ.

Відповідно до стандарту [11] проводяться такі випробування на механічні впливи:

- метод 100 - на виявлення резонансних частот;
- метод 101 - на відсутність резонансних частот у заданому діапазоні;
- метод 102 - на вібростійкість;
- метод 103 - на віброміцність;
- метод 104 - на ударну міцність;
- метод 105 - на ударну стійкість;
- метод 106 - на вплив одиночних ударів;
- метод 107 - на вплив лінійних (відцентрових) навантажень;
- метод 108 - на вплив акустичних шумів.

З усіх видів найбільш впливає на РЕЗ комплексне навантаження з сукупності вібраційних впливів та поодиноких ударів.

Число видів механічних випробувань і їхня послідовність залежить від призначення РЕЗ, умов експлуатації, типу виробництва.

### **3.1.3 Види та методи випробувань на вплив вібрації.**

#### **3.1.3.1 Методика проведення випробувань на вплив вібрації**

Найчастіше на РЕЗ впливає вібрація, яка може виникати при транспортуванні, при роботі різних механізмів, а також при експлуатації апаратури на рухомих об'єктах.

Вібраційні навантаження викликають переважно механічні напруження і деформації виробів. Якщо деформації пружні, то їх вплив може привести до нестабільності параметрів виробу за рахунок появи додаткового спектру частот збудження (віброшумів).

Після припинення впливу вібрації, що викликає пружні деформації виробів, їх функціонування відновлюється. Але вібрація може викликати і незворотні зміни встановлених значень параметрів регульованих елементів конструкції РЕЗ.

Під впливом навіть невеликих за амплітудою, але тривалих вібраційних навантажень можуть з'являтися втомні явища в матеріалах конструкції, що призводять до виведення з ладу або руйнування виробів. Особливо небезпечні явища резонансу, коли власна частота будь-якої частини конструкції виробу знаходиться в межах спектру частот діючої вібрації, в результаті чого навантаження зростають у багато разів. Це може привести до обриву виводів

елементів, з'єднувальних провідників, порушення герметизації, виникненню коротких замикань.

З метою перевірки здатності РЕЗ надійно працювати в умовах впливу вібрації і після її припинення проводяться випробування ***на виявлення резонансних частот, на вібростійкість і на віброміцність.***

Усі випробування на вплив вібрації проводять при НКУ, проте допускається підвищення температури навколишнього середовища через виділення тепла стендом з випробовуваним виробом до гранично допустимої температури, зазначеної в ТУ на даний виріб.

У всіх випадках перед проведенням випробувань на вібраційні навантаження проводиться перевірка зовнішнього вигляду виробу і вимір зазначених в ТУ і ПВ параметрів. Потім виріб жорстко кріплять на платформі (столі) вібростенда.

Вибираючи способи закріплення, необхідно враховувати експлуатаційне становище виробів, а також технічні характеристики вібростенда. Застосовувані способи закріплення, пристосування і оснащення повинні забезпечувати передачу вібраційного навантаження від столу стенду, на якому проводять випробування до виробу без втрат і спотворень. При цьому якщо виріб експлуатується в навантаженому стані, то випробування слід проводити, механічно (статично) навантажуючи його.

### **3.1.3.2 Випробування на виявлення резонансних частот конструкції**

Випробування на виявлення резонансних частот виробу в цілому або окремих його частин проводяться на завершальній стадії розробки конструкції.

Його проводять з метою перевірки механічних властивостей виробів і отримання вихідної інформації для вибору методів випробувань на вібростійкість, віброміцність, на вплив акустичного шуму, а також для вибору тривалості дії ударного прискорення при випробуваннях на вплив механічних ударів одиночної і багаторазової дії.

Кількість положень, в яких випробують виріб на виявлення резонансних частот, і діапазон частот вібрацій обумовлюються ПВ та ТУ. Якщо в ПВ не вказується діапазон частот, резонансні частоти

встановлюють в діапазоні від 5 Гц до верхньої частоти, зазначеної в ТУ.

Випробування проводять на окремій вибірці виробів, що дорівнює 3...5 шт.

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання синусоїдальних коливань у всьому діапазоні частот, встановленому в стандартах і ТУ на вироби та в ПВ для даного виду випробувань.

При випробуванні напрямок впливу вібрації вибирають таким, щоб досліджуваний елемент конструкції виробу коливався з максимальною амплітудою і мінімальною власною частотою.

Пристрій для визначення резонансних частот конструкції повинен забезпечувати реєстрацію зміни фази механічного коливання на  $90^\circ$ , якщо принцип його роботи заснований на порівнянні фаз коливань точки кріплення виробу і точки виробу, в якому визначається резонанс.

Випробування проводять в діапазоні частот від  $0,2f_r$  до  $1,5f_r$ , але не вище 20000 Гц, де  $f_r$  - резонансна частота, яка визначається методом розрахунку або на підставі випробувань вивченої аналогічної конструкції. Якщо орієнтоване значення резонансної частоти не відоме, то випробування проводять в діапазоні частот 40...20000 Гц або до частоти, встановленої в стандартах і ТУ на вироби.

Амплітуда прискорення повинна бути мінімально можливою, але достатньою для виявлення резонансу, і не перевищувати амплітуду прискорення, встановлену для випробування на віброміцність.

Під час випробування необхідно підтримувати амплітуду коливань платформи вібростенда не більше 1,5 мм, а прискорення - в межах від 1 до 5g.

При суміщенні випробувань на визначення резонансних частот з випробуваннями на вібростійкість встановлюють прискорення, вказане для випробувань на вібростійкість.

Підтримуючи постійною амплітудою (або прискорення) вібрації, плавно змінюють частоту зі швидкістю однієї октави в хвилину і з допомогою реєстратора фіксують резонансну частоту елемента конструкції.

Резонансні частоти коливань елементів можна визначати візуально за допомогою мікроскопа або іншого приладу, а фіксувати

момент виникнення резонансних коливань по зміні сигналу з датчика (перетворювача) вольтметром або осцилографом.

Значення резонансних частот конструкції, виявлені в процесі досліджень, потім вказують у ПВ, стандартах і ТУ на виріб.

### **3.1.3.3 Випробування на вібростійкість**

Випробування на вібростійкість проводять з метою перевірки здатності виробів виконувати свої функції і зберігати свої параметри в межах значень, зазначених у ТУ в умовах вібраційного впливу в заданому діапазоні частот і прискорень.

На вібростійкість вироби випробовуються під електричним навантаженням. Характер електричного навантаження, а також значення напруг (струмів) вказуються в ТУ і повинні забезпечувати максимальну ефективність випробувань.

При випробуванні на вібростійкість вироби, що мають власні віброізолятори, кріпляться на платформі вібростенда на цих віброізоляторах.

Випробування проводять при впливі на виріб вібрації в двох - трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Під час випробування плавно змінюють частоту вібрації в заданому у ПВ або ТУ діапазоні частот. Швидкість зміни частоти повинна бути такою, щоб час зміни частоти в резонансній смузі частот випробовуваних виробів був не менше часу наростання амплітуди вібрації виробу при резонансі до сталого значення і часу остаточного встановлення рухомої частини вимірювального або реєструючого приладу.

З іншого боку, зменшення швидкості призводить до збільшення тривалості випробувань, тобто є економічно не вигідним.

Ще одна особливість підтримки режиму випробувань полягає в тому, що в діапазоні низьких частот до 50 Гц або до іншої частоти, про яку йдеться в ТУ, встановлюють постійну амплітуду вібраційних коливань, а на інших, більш високих частотах - постійне прискорення.

Режим випробувань контролюють за допомогою вібровимірювальних перетворювачів прискорення (ВВП), що встановлюються на платформі вібростенда поруч з місцями кріплення виробу і на самому виробі, а підтримують автоматично в заданих межах відповідно до ПВ.

При випробуваннях контролюють працездатність виробу, зафіксувавши нестійкий стан електричного режиму зразка; на цій

частоті вібрації виріб витримують додатково протягом певного часу (до 5 хв.) і з'ясовують причини нестійкості.

### **3.1.3.4 Випробування на віброміцність**

Випробування на віброміцність проводять для перевірки здатності виробів протистояти руйнівній дії вібрації і зберігати свої параметри в межах, зазначених в ПВ або ТУ на виріб.

При випробуваннях на віброміцність електричне навантаження може не подаватися.

В процесі випробувань на віброміцність повинні виконуватися ті ж правила, що і при випробуваннях на вібростійкість (кріплення зразків, напрямок навантаження і т. ін.).

Для оцінки результатів випробувань на віброміцність необхідно не тільки виміряти параметри, що вказані у НТД, але і провести перевірку на вібростійкість.

Тільки за сукупністю результатів, отриманих при вимірюванні електричних параметрів, оцінці зовнішнього вигляду і випробувань на вібростійкість можна судити, чи витримали досліджувані вироби випробування на віброміцність.

Випробування на віброміцність і вібростійкість здійснюють методами фіксованих частот, частоти, що хитається частоти і впливом випадкової вібрації.

### **3.1.3.5 Метод фіксованих частот**

Випробування виробів РЕЗ на віброміцність методом фіксованих частот проводять, попередньо розбивши робочий діапазон частот вібрації на піддіапазони.

Протягом 1...2 хв. плавно змінюють частоту вібрації від нижнього до верхнього значення в межах кожного піддіапазону і витримують на верхньої частоті піддіапазону.

Час витримки і прискорення вібрації встановлюють в залежності від вимог ПВ і ТУ.

### **3.1.3.6 Метод частоти, що хитається**

Суть методу частоти, що хитається, полягає в зміні частоти коливань в заданому діапазоні від мінімальної до максимальної і назад

з тим, щоб послідовно збуджувати резонанси виробу, які припадають на область частот випробування.

Вибір діапазону частот залежить від резонансних властивостей елементів конструкції виробу. Якщо резонансні частоти досліджуваного виробу перевищують в 1,5...2 рази верхню частоту діапазону вібрацій за ТУ, випробування на віброміцність допускається проводити в більш вузькому діапазоні на частотах, ближчих до резонансної.

Величина прискорення вібрації, кількість циклів коливання і час проходження діапазону (в одному напрямку) залежать від ступеня жорсткості умов експлуатації виробу і вказуються в ПВ і ТУ.

Допускається проводити випробування на віброміцність на будь-якій фіксованій частоті, що входить в робочий діапазон вібрації і про яку йдеться в ПВ і ТУ.

Як правило, загальне число коливань при впливі вібрації, оптимальне для виявлення втомних властивостей матеріалів, дорівнює  $10^7$ .

При випробуванні виробів РЕЗ на віброміцність комбінованим методом весь діапазон робочих частот розбивають на дві частини: від нижніх частот до 100 Гц і від 100 Гц до верхніх частот. При випробуванні в піддіапазоні до 100 Гц всі операції виконують, як при випробуванні на фіксованих частотах, а в діапазоні вище 100 Гц - як при випробуванні методом частоти, що хитається частоти. В ПВ і ТУ вказується амплітуда (прискорення) і тривалість витримки виробів на кожній ділянці діапазону вібрацій.

### **3.1.3.7 Метод впливу випадкової вібрації**

Метод впливу випадкової вібрації найбільш повно відображає умови експлуатації РЕЗ в реальних режимах.

Як за частотним спектром, так і за рівнем навантаження такі випробування вимагають спеціально узгодженої методики випробувань.

Принципово цей метод не відрізняється від методу випробувань на частоті, що хитається, за винятком характеру вібраційних коливань, значення яких випадкові як за частотою, так і за амплітудою (в заданих межах).

У ПВ та ТУ зазначаються спектральна щільність прискорення, діапазон частот вібрації і тривалість випробувань.

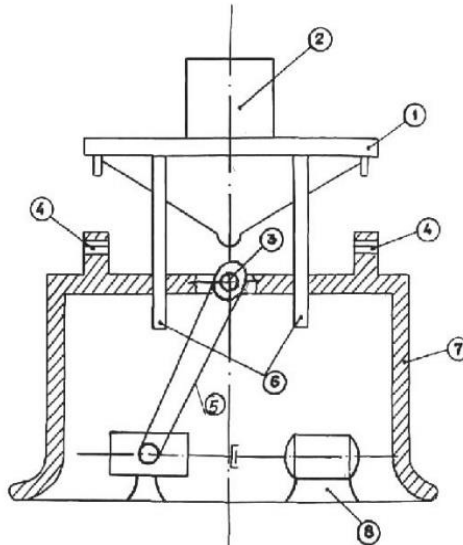
Зважаючи на складність обладнання, що забезпечує певний частотний спектр, цей метод застосовують рідко.

### 3.1.4 Обладнання для випробувань на вплив вібрації

Для створення вібраційних навантажень використовуються механічні (ексцентрикові та відцентрові) і електродинамічні вібростенди.

**Ексцентрикові стенди** дозволяють отримувати максимальну амплітуду коливань 0,4...4,0 мм або максимальне прискорення до 25 g в діапазоні частот від 20 до 80 Гц.

Схема вібростенда наведена на рис. 3.1.

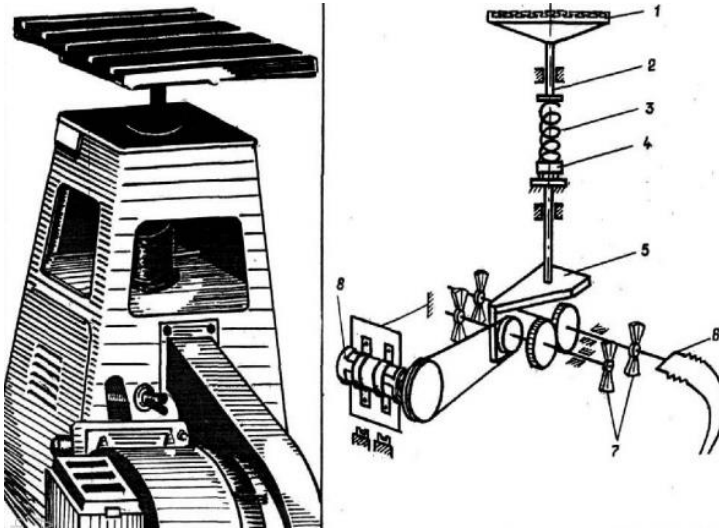


1 - стіл вібростенда; 2 - виріб; 3 - ексцентрик; 4 - обмежувач; 5 - клиноремінна передача; 6 - спрямовуючі; 7 - станина; 8 - електродвигун

Рисунок 3.1 - Схема вібростенда ексцентрикового типу

Вібрація робочого столу **відцентрового стенду** виникає під дією результуючої відцентрової сили, що утворюється при обертанні в протилежних напрямках двох валів з дисбалансами. Амплітуда коливань залежить від статичного моменту маси дисбалансів щодо їх вісі обертання і частоти обертання дисбалансів, а частота вібрації - тільки від частоти обертання дисбалансів.

Зовнішній вигляд та схема вібростенда з відцентровим приводом наведені на рис. 3.2.



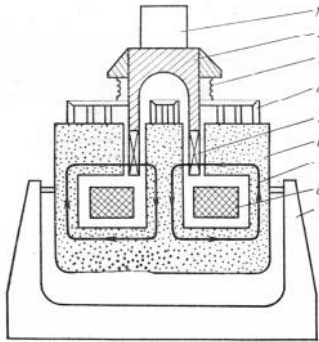
1 - платформа стенда; 2 - шток; 3 - пружний елемент; 4 - регулятор; 5 - спрямовуючі; 6 - фіксатор; 7 - дисбаланси; 8 - електродвигун

Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд та схема вібростенда з відцентровим приводом

Вібраційні стенди з відцентровим приводом забезпечують коливання амплітудою до 5 мм і максимальним прискоренням до 25g в діапазоні частот від 20 до 200 Гц.

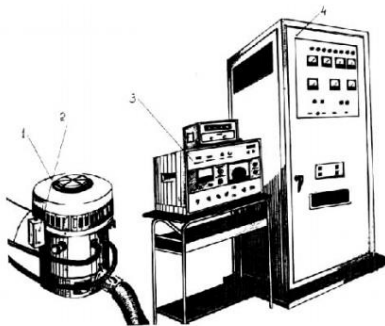
Принцип дії **електродинамічного вібростенда** заснований на взаємодії струму, що протікає по обмотці рухомої котушки, з постійним магнітним полем електромагніту.

На рис. 3.3 наведена конструкція електродинамічного вібростенда, а на рис. 3.4 - зовнішній вигляд електродинамічної вібраційної установки. Вони забезпечують створення синусоїдальної вібрації в діапазоні частот від 5 Гц до 10 кГц з прискоренням до 50...100 g або максимальною амплітудою зміщення до 10 мм.



1 - виріб, що випробується; 2 - стіл вібростенда; 3 - пружна підвіска стола; 4 - магнітний екран; 5 - рухома котушка; 6 - магнітопровід; 7 - шлях магнітного потоку; 8 - котушка підмагнічування; 9 - основа

Рисунок 3.3 - Конструкція електродинамічного вібростенда



1 - електродинамічний вібростенд; 2 - узгоджуючий підсилювач; 3 - система управління вібраційною установкою (СУВУ); 4 - підсилювач

Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд електродинамічної вібраційної установки

Конструкції та основні параметри сучасних випробувальних вібраційних установок можна глянути у каталогах [12], [13].

### **3.1.5 Види та методи випробувань на ударні впливи**

#### **3.1.5.1 Методика проведення випробувань на ударні впливи**

Випробування на впливи ударних навантажень проводяться з метою оцінки ударної міцності і стійкості виробів.

Відмінність цих випробувань полягає в тому, що при випробуванні на ударну міцність перевіряють здатність виробу витримувати руйнівні впливи ударів і продовжувати нормально функціонувати після їх припинення, а при випробуванні на ударну стійкість перевіряють здатність виробу виконувати свої функції при впливі ударних навантажень.

Випробуванням піддають дослідні зразки виробів, вироби з настановної серії, а також вироби серійного або масового виробництва при зміні їх конструкції, технологічного процесу, або марки чи якості основних матеріалів, здатних вплинути на механічну міцність виробів та їх стійкість до впливу механічних факторів.

Випробуванням повинні піддаватися вироби РЕЗ в цілому або окремі їх частини, що є закінченими складальними одиницями і відповідають ТУ або стандартам за конструкцією, параметрами і зовнішнім виглядом.

Якщо маса, габаритні розміри або конструкція виробів не дозволяють випробувати їх в повному комплекті на існуючому випробувальному обладнанні, то випробування проводяться для окремих блоків. Порядок проведення таких випробувань вказується в ТУ або в стандартах на виріб і в ПВ.

Якщо послідовні поблочні випробування не забезпечують достатньої достовірності результатів випробувань, то випробування блоків, електрично пов'язаних між собою, проводять одночасно при розміщенні їх на кількох стендах.

Способи кріплення зразків на платформі випробувальної установки вказуються в ТУ, стандартах і ПВ з урахуванням можливих положень РЕЗ при експлуатації.

Вироби, які мають власні віброізолятори, кріпляться на них.

Жорсткість кріпильних пристосувань повинна бути такою, щоб механічні навантаження передавалися виробу з мінімальними спотвореннями.

Крива зміни прискорення при випробуваннях на ударну дію може мати вигляд напівхвилі синусоїди, прямокутного імпульсу або імпульсу пілкоподібної форми.

Режим випробувань вказують в ТУ, стандартах або ПВ і він залежить від призначення виробу.

Так, тривалість ударів при випробуваннях буває від 1 до 18 мс, прискорення - від 5 до 150 g, кількість ударів - до 12000.

Параметри режимів при випробуваннях на ударні впливи встановлюються в контрольній точці, яка вибирається в одному з наступних місць:

- на платформі стенду, поряд з однією з точок кріплення виробу;
- на кріпильному пристосуванні, якщо виріб кріпиться на пристосуванні;
- поруч з точкою кріплення віброізолятора, якщо виріб кріпиться на власних віброізоляторах.

У технічно обґрунтованих випадках допускається вибирати контрольну точку на самому виробі за умови, що вимір в цій точці забезпечить об'єктивний контроль параметрів впливу.

Випробування РЕЗ на ударну міцність можуть проводитися під електричним навантаженням, або без нього, а на ударну стійкість - обов'язково під електричним навантаженням. При цьому в процесі випробувань РЕЗ повинні повністю виконувати свої функції і зберігати електричні параметри в межах вимог ТУ і ПВ.

Випробування на ударну стійкість і ударну міцність відносяться до випробувань на вплив багаторазових ударів. Поряд з цими випробуваннями деякі види РЕЗ піддаються випробуванням на вплив одиночних ударів з великим прискоренням. При цих випробуваннях перевіряється здатність виробу протистояти руйнівній дії ударів з прискоренням, які для деяких видів виробів досягають декількох тисяч g.

Рекомендується піддавати випробовуваний зразок трьом ударам в кожному положенні.

Основні характеристики режимів випробування РЕЗ **при багаторазовому впливі ударів** - пікове ударне прискорення і загальне число ударів - задаються відповідно до ступеня жорсткості випробувань.

Форма ударного імпульсу є однією з найважливіших характеристик, що забезпечують єдність випробувань, та регламентується в ТУ.

Найнебезпечнішим для виробів є трапеційдальний імпульс, оскільки він має найбільш широку область квазірезонансного збудження і найбільший коефіцієнт динамічності в цій області.

Пилкоподібний імпульс дозволяє досягти найкращої відтворюваності випробувань, проте отримати ударний імпульс такої форми важче, ніж імпульс іншої форми.

На практиці при випробуваннях найчастіше використовують напівсинусоїдальний ударний імпульс, формування якого найпростіше і вимагає найменших витрат.

Випробування на ударне навантаження проводять в квазірезонансному режимі збудження. Тривалість дії ударного прискорення  $\tau$  вибирають в залежності від значення нижчої резонансної частоти виробу (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Значення тривалості імпульсу ударного прискорення

| $F_{OH},$<br>Гц   | до 60      | 60...100   | 100...200 | 200...500 | 500...1000  | більш<br>1000 |
|-------------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|---------------|
| $\tau, \text{мс}$ | $18 \pm 5$ | $11 \pm 4$ | $6 \pm 2$ | $3 \pm 1$ | $2 \pm 0,5$ | $1 \pm 0,3$   |

Якщо технічні характеристики обладнання не забезпечують необхідної тривалості дії ударного прискорення, то допускається проведення випробувань з тривалістю дії ударного прискорення, яка визначається за формулою:

$$\tau \geq \frac{300}{f_{OH}}$$

де:  $\tau$  - тривалість ударного імпульсу, мс;

$f_{OH}$  - нижча резонансна частота, Гц

Випробування проводять при частоті проходження від 40 до 120 ударів в хвилину.

Допускаються перерви в випробуванні, тривалість яких не обмежується, але при цьому загальне число ударів повинно зберігатися.

Випробування проводять шляхом дії ударів по черзі в кожному з трьох взаємно перпендикулярних напрямків по відношенню до виробу. При цьому загальна кількість ударів має рівномірно розподілятися між напрямками, за якими проводять випробування. Якщо відомий найбільш небезпечний напрямок дії, виріб випробовують тільки в цьому напрямку при збереженні загального числа ударів.

**Випробування на вплив одиночних ударів** проводять з метою перевірки здатності виробів протистояти руйнівній дії механічних ударів одиночної дії і виконувати свої функції після впливу ударів, а також виконувати свої функції або не допускати помилкових спрацьовувань в процесі впливу ударів.

Значення пікового ударного прискорення та тривалості ударного імпульсу напівсинусоїдальної форми вибирають в залежності від ступеня жорсткості.

Тривалість дії ударного прискорення  $\tau$  для ударного прискорення з трапецієподібною та пілкоподібною формами імпульсу вибирають відповідно за формулами:

$$\tau_T = \frac{n_i \cdot 100}{f_{OH}} ;$$

$$\tau_{II} = \frac{300}{f_{OH}}$$

де значення  $n_i$  вибирають в діапазоні від 3 до 100;

$f_{OH}$  - значення найнижчої резонансної частоти виробу, Гц.

Випробування проводять шляхом впливу ударів по черзі в кожному з двох протилежних напрямків за трьома взаємно перпендикулярними осями виробу (6 напрямків). Вироби, у яких відомий один найбільш небезпечний напрямок впливу, випробовують тільки в цьому напрямку. Незалежно від кількості обраних напрямків впливу пікового ударного прискорення в кожному напрямку проводять три удари.

### 3.1.5.2 Вимірювання параметрів ударів

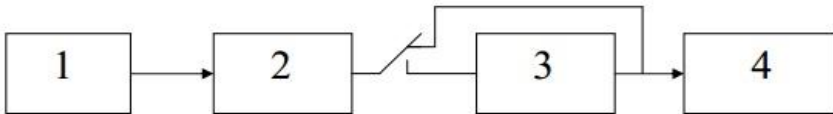
При вимірюванні параметрів удару необхідно реєструвати:

- пікове ударне прискорення;
- тривалість дії ударного прискорення;
- форму імпульсу ударного прискорення.

Вимірювання параметрів ударів повинно проводитися одним з наступних методів:

- за допомогою п'єзоелектричного вимірювального перетворювача (ВВП) з відомим коефіцієнтом перетворення;
- за зміною швидкості при ударі з використанням ВВП з невідомим коефіцієнтом перетворення;
- крешерним методом (тільки для вимірювання прискорення).

Для вимірювань використовують апаратуру, структурна схема якої представлена на рис. 3.5.



1 - вимірювальний перетворювач (ВП); 2 - узгоджувач підсилювач;  
3 - фільтр; 4 - реєструючий прилад

Рисунок 3.5 - Структурна схема вимірювань параметрів ударів

Датчиком служить п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач з резонансною частотою не менш 20 кГц.

Узгоджувальний підсилювач служить для узгодження великого вихідного опору перетворювача з малим вхідним опором реєструючого приладу.

Для зменшення високочастотних складових, які деформують форму основного ударного імпульсу і ускладнюють вимір, в схему включений фільтр з необхідною смугою пропускання і мінімально можливою нерівномірністю частотної характеристики в смузі пропускання.

У якості реєструючого приладу використовується осцилограф з тривалим післясвіченням в режимі чекаючої розгортки,

відкалібрований за чутливістю та тривалістю. На екрані осцилографа безпосередньо спостерігають форму ударного імпульсу і проводять розрахунок його параметрів.

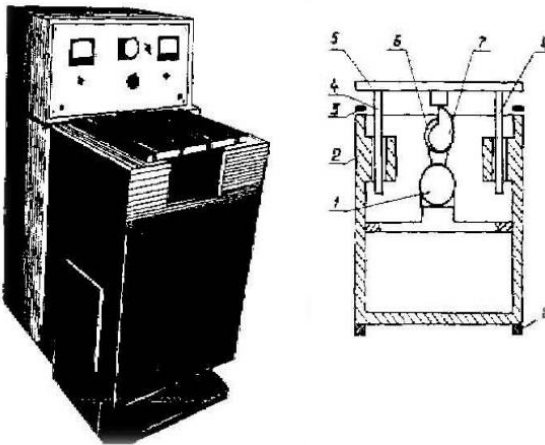
### 3.1.6 Обладнання для випробувань на ударні впливи

При випробуваннях РЕЗ на багаторазові ударні навантаження використовуються механічні та електродинамічні стенди і установки.

У **механічних ударних стендах** ударне прискорення створюється в вертикальному напрямку при ударі вільно падаючого столу 5 з прикріпленим до нього випробовуваним виробом о пружні елементи 3, встановлені на станині 2 (див. рис. 3.6).

Величина прискорення залежить від висоти падіння і маси столу. Тривалість і форма ударного імпульсу залежать від того, як з моменту зіткнення робочого столу з пружними елементами ударне прискорення наростає до максимального значення і регулюється підбором товщини і жорсткості каліброваних пружних елементів.

Частота ударів встановлюється шляхом зміни числа обертів електродвигуна, що обертає кулачок 7, який піднімає стіл стенда.



1 - електродвигун; 2 - станина; 3 - пружні елемента (амортизуючі прокладки); 4 - спрямовуючі; 5 - стіл; 6 - клиноремінна передача; 7 - кулачок; 8 - гумові амортизатори

Рисунок 3.6 - Схема стенда для випробувань на вплив багаторазових ударів

**Електродинамічна ударна установка** (рис. 3.7) складається зі стійки управління і безпосередньо ударного стенда.

Принцип її дії заснований на тому, що при протіканні змінного струму по обмотці рухомої котушки, що знаходиться в постійному магнітному полі, виникає сила, яка змушує рухому котушку і пов'язаний з нею стіл здійснювати коливання з частотою струму, що протікає через котушку. Удар виходить при розряді через рухому котушку конденсаторної батареї, що входить до складу шафи управління.

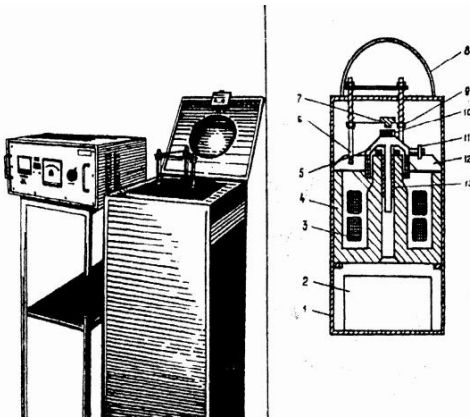
Сила, що виникає при цьому, визначається за формулою:

$$F = 2 \cdot B \cdot L \cdot I \cdot 10^{-6}$$

де  $B$  - індукція в повітряному зазорі магнітного ланцюга вібратора;

$L$  - довжина провідника рухомої котушки;

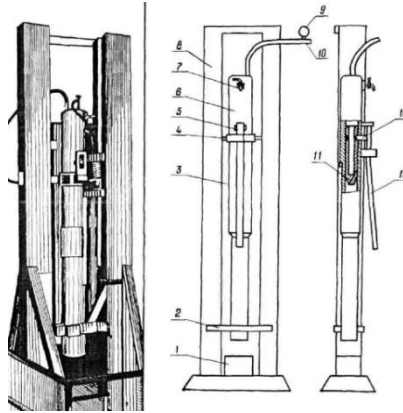
$I$  - ефективне значення сили струму в рухомій котушці.



1 - кожух; 2 - блок живлення; 3 - обмотка підмагнічування; 4 - корпус електромагніту; 5 - рухома система; 6, 11 - спрямовуючі; 7 - стіл; 8 - кришка стенду; 9 - мембрана; 10 - прокладка; 12 - кришка електромагніту; 13 - втулка

Рисунок 3.7 - Електродинамічна ударна установка

При випробуваннях на вплив одиночних ударів з великим прискоренням використовуються **пневматичні ударні установки** (див. рис. 3.8), а також ударні стенди копрного типу.



1 - ковадло; 2 - затиск; 3 - спрямовуючий стіл; 4 - вісь; 5 - запірно-спусковий механізм; 6 - робоча камера; 7 - кран; 8 - станина; 9 - манометр; 10 - шланг; 11 - болванка; 12 - замковий зуб; 13 - важіль

Рисунок 3.8 - Пневматична ударна установка

У деяких випадках РЕЗ може проходити випробування на ударну міцність при вільному падінні шляхом її скидання з певної висоти на вкриту повстю або іншим матеріалом сталеву плиту, вмонтовану в бетонну основу.

Конструкції та основні параметри сучасних випробувальних ударних установок можна глянути у [13].

### 3.2 Завдання до роботи

3.2.1 Ознайомитися з методами випробувань на вібраційні впливи.

3.2.2 Ознайомитися з принципами дії та конструкціями устаткування для випробувань на вібраційні впливи.

3.2.3 Ознайомитися з методами випробувань на ударні впливи.

3.2.4 Ознайомитися з принципами дії та конструкціями устаткування для випробувань на ударні впливи.

3.2.5 Експериментально визначити резонансні частоти друкованої плати в п'яти точках (центральної та біля точок кріплення) та побудувати для цих точок амплітудно-частотні характеристики (АЧХ).

*Примітка.* Для проведення експериментальних випробувань використовується вібровимірювальна установка СКПВ-0,1А з вібростендом електродинамічного типу.

### 3.3 Порядок виконання експериментальної частини

3.3.1 Установити ручки органів керування в положення, оговорені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Положення ручок органів керування

| Органи керування                                     | Положення                 |
|------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Система керування віброустановкою (СКПВ-0,1А)</b> |                           |
| Тумблери включення мережі                            | “Вкл.” (нижнє положення)  |
| Переключення діапазону генератора                    | ”40-400”                  |
| Перемикач ”Генератор”                                | “Вкл.”                    |
| Перемикач “Вихід”                                    | “Норм.”                   |
| Ручка “Рівень”                                       | У крайнє ліве положення   |
| <b>Мілівольтметр</b>                                 |                           |
| Тумблер включення мережі                             | “Викл.” (нижнє положення) |
| Перемикач діапазонів виміру мілівольтметра           | “0”                       |

3.3.2 Повідомити викладача про готовність до виконання роботи, одержати дозвіл на включення устаткування.

3.3.3 Включити живлення вібровипробувального і контрольно-вимірювального устаткування.

3.3.4 Включити живлення СКПВ-0,1А тумблерами “Мережа” у положення “Вкл.” При цьому всі сигнальні лампочки повинні світитися.

3.3.5 Включити живлення мілівольтметра тумблером “Мережа” у положення “Вкл.”.

3.3.6 Дати вібровипробувальному устаткуванню і контрольно-вимірювальним приладам прогрітися протягом 5 хв.

3.3.7 Закріпити в центрі плати, встановленої на вібраторі, контрольний п'єзоелектричний віброперетворювач за допомогою спеціальної мастики.

3.3.8 Установити ручкою “Рівень” за шкалою міліамперметра рівень струму підмагнічування, рівний 70 мА.

3.3.9 Плавню змінюючи частоту в діапазоні 100...300 Гц, зняти показання міліамперметра і побудувати АЧХ.

3.3.10 За вказівкою викладача закріпити контрольний п'єзоелектричний віброперетворювач ще в 4-х точках, побудувавши АЧХ відповідно до показань міліамперметра.

3.3.11 Виключити випробувальне устаткування і контрольно-вимірювальні прилади.

### **3.4 Зміст звіту**

3.4.1 Мета роботи.

3.4.2 Відповіді на контрольні запитання з вказівкою викладача.

3.4.3 Структурна схема вимірів.

3.4.4 Результати вимірів, занесені в таблицю.

3.4.5 Графіки залежності амплітуди вібрації плати від частоти для п'яти точок вимірювання.

3.4.6 Висновки за отриманими результатами.

### **3.5 Контрольні запитання**

3.5.1 Перелічити основні механічні впливи на РЕЗ.

3.5.2 Мета та основні види випробувань на механічні впливи.

3.5.3 Наслідки впливу вібрацій на РЕЗ.

3.5.4 Види випробувань на вібраційні впливи.

3.5.5 Загальні вимоги до випробувань на механічні впливи: умови проведення, способи закріплення виробів.

3.5.6 Явище механічного резонансу. Дати визначення власної резонансної частоти.

3.5.7 Випробування на виявлення резонансних частот конструкції - мета, загальні вимоги.

3.5.8 Методика проведення випробувань на виявлення резонансних частот конструкції.

3.5.9 Що розуміють під вібро- і удароміцністю?

3.5.10 Що розуміють під вібро- і ударостійкістю?

3.5.11 Випробування на вібростійкість - мета, загальні вимоги.

3.5.12 Випробування на віброміцність - мета, загальні вимоги.

3.5.13 Метод фіксованих частот.

3.5.14 Метод частоти, що хитається.

3.5.15 Метод впливу випадкової вібрації.

3.5.16 Ексцентрикові вібростенди.

3.5.17 Відцентрові вібростенди.

3.5.18 Електродинамічні вібростенди.

3.5.19 Випробування на ударні впливи - мета, загальні вимоги.

3.5.20 Вибір режимів випробувань на ударні впливи.

3.5.21 Мета та характеристики режимів випробувань при багаторазовому ударному впливі.

3.5.22 Мета та характеристики режимів випробувань на вплив одиночних ударів.

3.5.23 Вимірювання параметрів ударів.

3.5.24 Механічні ударні стенди.

3.5.25 Електродинамічна ударна установка.

3.5.26 Пневматична ударна установка.

3.5.27 Схема установки для проведення випробувань на визначення резонансних частот друкованої плати.

3.5.28 Поясніть отримані результати.

## **4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИПРОБУВАНЬ КОНСТРУКЦІЇ РЕЗ НА КЛІМАТИЧНІ ВПЛИВИ**

### **Мета роботи:**

- ознайомлення з видами та методами випробувань на деякі види кліматичних впливів: на дію підвищених температур, знижених температур та вологостійкість;
- ознайомлення з принципом роботи та будовою випробувального обладнання та контрольно-виміральної апаратури;
- одержання практичних навичок проведення випробувань РЕЗ на теплостійкість.

### **4.1 Теоретичні відомості**

#### **4.1.1 Вплив температури на працездатність РЕЗ**

В процесі експлуатації і зберігання РЕЗ піддається впливу довколишнього середовища.

Температурні впливи є одними з основних кліматичних факторів, що обумовлюють нестабільність і деградацію параметрів РЕЗ.

Для забезпечення нормальної роботи РЕЗ і її елементів важливе значення мають їхні теплові характеристики. Підвищення температури РЕЗ може відбуватися під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів. При цьому розрізняють безупинний, періодичний і аперіодичний вплив.

Вплив зовнішніх факторів визначається кліматичними умовами, розташуванням РЕЗ на об'єкті і відстанню до зовнішніх джерел тепла. Температура повітря може коливатися в широких межах (від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+68^{\circ}\text{C}$ ), причому верхня межа збільшується за рахунок нагрівання при впливі сонячної радіації. Температура і швидкість нагрівання РЕЗ залежать від матеріалу і кольору покриття, теплоємності матеріалу РЕЗ, його маси і т.ін. Зазначені фактори визначають граничну температуру нагрівання, по досягненні якої поверхня виробів починає випромінювати тепло.

Вплив внутрішніх факторів в основному залежить від схемного і конструктивного рішень.

Безупинному тепловому впливу піддаються РЕЗ, що функціонують у стаціонарних умовах. Тривалість установаження стаціонарного режиму РЕЗ визначається її призначенням і прийнятими схемно-конструкторськими рішеннями і може коливатися в межах від 0,5 до 2,5...3 год.

Періодичному тепловому впливу піддаються рухомі РЕЗ (носії, а також ті, що експлуатуються у кузовах автомобілів, на річкових судах, на залізничному транспорті, літаках тощо). При експлуатації авіаційних засобів перепади температури можуть досягати  $80^{\circ}\text{C}$  при швидкості зміни температури до  $50^{\circ}\text{C}$  в хв.

Аперіодичному тепловому впливу піддаються РЕЗ, що установлені на космічній техніці (на ракетах у момент запуску і входження в щільні шари атмосфери).

Вплив підвищеної температури приводить, як правило, до змін фізико-хімічних, електричних і механічних властивостей матеріалів ЕРЕ, що в остаточному підсумку приводить до зміни вхідних і вихідних параметрів системи.

Істотний вплив температури на стабільність параметрів РЕЗ обумовлений температурною залежністю електрофізичних параметрів матеріалів. Певну небезпеку для РЕЗ представляють різкі коливання температури навколишнього середовища внаслідок наявності в конструкції пов'язаних матеріалів з різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення (ТКЛР).

#### **4.1.2 Загальні відомості про випробування на вплив підвищеної та зниженої температури**

Температурним випробувань РЕЗ піддається на стадіях її розробки (ДКР), при освоєнні виробів в серійному виробництві, а також в самому серійному виробництві для відбраковування потенційно ненадійних виробів (технологічні випробування) і контролю стабільності виробництва (періодичні випробування).

Періодичність проведення випробувань залежить від індивідуальних властивостей виробів, виду виробництва і обсягу їх випуску за контрольований період і, як правило, вказується в ТУ на виріб. Наприклад, при серійному виробництві інтегральних мікросхем (ІМС), ЕРЕ і функціональних вузлів, періодичність випробувань становить 1...3 місяці, для знову впроваджуваних у виробництво

радіовимірювальних приладів - 1...2 роки, а при серійному їх виробництві періодичність може визначатися 3..5 роками.

Температурні екстремуми апаратури визначаються як кліматичними, так і внутрішніми джерелами тепла, тому при випробуваннях необхідно враховувати сумарний ефект від впливу всіх джерел тепла. Режими і умови випробувань встановлюються програмою випробувань (ПВ) і методикою випробувань (МВ) в залежності від ступеня жорсткості, який, в свою чергу, обумовлюється в ТУ і стандартах на виріб.

Види і значення кліматичних факторів зовнішнього середовища і їх взаємозв'язок зі ступенями жорсткості наведені в таблиці 4.1.

Вироби РЕЗ можуть проходити випробування на **тепломіцність (холодоміцність), теплостійкість (холодостійкість) і на циклічний вплив зміни температур.**

При випробуваннях на **тепломіцність** перевіряється здатність виробу протистояти руйнівній дії фактора і продовжувати нормально функціонувати після припинення його дії.

Після закінчення періоду випробувань перевіряється зовнішній вигляд, механічні властивості і вимірюються електричні параметри апаратури.

При перевірці зовнішнього вигляду звертається увага на зміну кольору, вид захисних покриттів, стан сполучених деталей. Якщо після випробувань зазначені вище властивості і параметри задовольняють вимогам, встановленим в ТУ, ПВ або в МВ, то вважається, що виріб витримав випробування.

Відмінність випробувань на **теплостійкість** від випробувань на тепломіцність полягає в тривалості і в тому, що при випробуваннях на тепломіцність випробовувані зразки, як правило, знаходяться в неробочому стані.

Рівень теплових навантажень при випробуваннях на тепломіцність зазвичай більший, ніж при випробуваннях на теплостійкість.

Випробування на **теплостійкість** проводять з метою визначення здатності виробів РЕЗ виконувати свої функції, зберігати параметри і зовнішній вигляд в межах норм ТУ в процесі і після впливу температури.

Таблиця 4.1 - Значення кліматичних факторів в залежності від ступеню жорсткості

| Температура                                            |                 | Значення °C | Значення K | Ступінь жорсткості |
|--------------------------------------------------------|-----------------|-------------|------------|--------------------|
| Температура повітря чи іншого газу при експлуатації    | Верхнє значення | 40          | 313        | I                  |
|                                                        |                 | 45          | 318        | II                 |
|                                                        |                 | 50          | 323        | III                |
|                                                        |                 | 55          | 328        | IV                 |
|                                                        |                 | 60          | 333        | V                  |
|                                                        |                 | 70          | 343        | VI                 |
|                                                        |                 | 85          | 358        | VII                |
|                                                        |                 | 100         | 373        | VIII               |
|                                                        |                 | 125         | 398        | IX                 |
|                                                        |                 | 155         | 428        | X                  |
|                                                        |                 | 200         | 473        | XI                 |
|                                                        |                 | 250         | 523        | XII                |
|                                                        |                 | 315         | 528        | XIII               |
|                                                        |                 | 400         | 673        | XIV                |
|                                                        |                 | 500         | 773        | XV                 |
|                                                        | Нижнє значення  | +1          | 274        | I                  |
|                                                        |                 | -5          | 268        | II                 |
|                                                        |                 | -10         | 263        | III                |
|                                                        |                 | -25         | 248        | IV                 |
|                                                        |                 | -30         | 243        | V                  |
|                                                        |                 | -40         | 233        | VI                 |
|                                                        |                 | -45         | 228        | VII                |
|                                                        |                 | -60         | 213        | VIII               |
|                                                        |                 | -85         | 188        | IX                 |
| Температура повітря чи іншого газу при транспортуванні | Верхнє значення | +50         | 323        | I                  |
|                                                        |                 | +60         | 333        | II                 |
|                                                        | Нижнє значення  | -50         | 223        | I                  |
|                                                        |                 | -60         | 213        | II                 |
|                                                        |                 | -85         | 188        | III                |

Розрізняють два методи випробувань на теплостійкість: випробування під термічним навантаженням і випробування під суміщеним термічним і електричним навантаженнями.

Першому методу випробувань піддаються вироби, які не розсіюють тепло і температура яких в процесі експлуатації залежить тільки від температури довколишнього середовища; другому - вироби, які розсіюють тепло і в робочому стані нагріваються за рахунок виділеної потужності під дією електричного навантаження.

При випробуванні під суміщеним навантаженням вироби поміщають в камеру і випробують при нормальному або максимально допустимому електричному навантаженні, що відповідає верхньому значенню температури зовнішнього середовища, яке встановлюється в залежності від ступеня жорсткості випробувань.

У вітчизняній практиці час випробування на теплостійкість визначається часом, необхідним для досягнення виробом теплової рівноваги і часом вимірювання електричних параметрів.

В зарубіжній практиці ступінь жорсткості визначається не тільки температурою випробувань, але і часом витримки при заданій температурі і вибирається з ряду 2; 16; 72; 96 год.

Можливі два способи проведення випробування виробів, які розсіюють тепло.

При першому способі досягнення заданого температурного режиму виробів визначають контролем температури повітря в камері, яка встановлюється рівною верхньому значенню температури навколишнього середовища, зазначеному в ТУ.

При другому способі досягнення заданого температурного режиму виробів визначають контролем температури ділянки виробу, який має найбільшу температуру або є найбільш критичним для працездатності виробу.

Випробування першим способом можливе, коли обсяг камери досить великий, щоб імітувати умови вільного обміну повітря в камері, і відсутня примусова циркуляція повітря або її охолоджуючою дією можна знехтувати, а також в разі, коли температура перегріву ділянки виробу, визначена в НКУ (поза камерою), не перевищує  $25^{\circ}\text{C}$  і різниця заданої температури повітря в камері при випробуванні та температури в НКУ не перевищує  $35^{\circ}\text{C}$ .

В інших випадках випробування виробів, які розсіюють тепло, слід проводити іншим способом.

Вимірювання параметрів випробовуваних виробів проводять після досягнення теплової рівноваги без вилучення виробу з камери.

Якщо вимірювання параметрів без вилучення виробу з камери технічно неможливе, то допускається вилучення виробів з камери для вимірювання, однак час виміру параметрів не повинен перевищувати 3 хв., якщо інший час спеціально не обумовлений в ТУ.

**Випробування на циклічний вплив зміни температур** проводять для визначення здатності виробів витримувати зміни температури зовнішнього середовища і зберігати свої параметри після цього впливу.

Загальна кількість циклів встановлюється рівною трьом.

Кожен цикл складається з двох етапів. Спочатку виріб поміщають в камеру холоду, а потім в камеру тепла, температури в яких встановлюються заздалегідь залежно від ступеня жорсткості випробувань.

При заданих температурах виріб витримують протягом часу, необхідного для досягнення теплової рівноваги.

Час перенесення виробів з камери тепла в камеру холоду або назад не повинен перевищувати 5 хв. При цьому рекомендується, щоб час досягнення заданого режиму в камерах після завантаження виробу також не перевищував цю межу.

Під час випробування електричне навантаження на виріб не подається, а електричні параметри вимірюють до і після випробувань, попередньо витримавши виріб в нормальних кліматичних умовах.

Термоцикування є одним з найжорсткіших видів кліматичних випробувань і дозволяє виявити приховані конструктивні дефекти і порушення технології, допущені при виготовленні РЕЗ.

Згідно зі стандартом [11] випробування на вплив підвищеної (зниженої) температури середовища проводять одним з наступних методів:

- метод 201-1 - випробування в камері без електричного навантаження;
- метод 201-2 - випробування в камері під електричним навантаженням тепловиділяючих виробів;

- метод 201-3 - випробування тепловиділяючих виробів під електричним навантаженням поза камерою;
- метод 202-1 - випробування виробів на вплив підвищеної граничної температури середовища;
- метод 203-1 - випробування виробів на вплив зниженої робочої температури середовища;
- метод 204-1 - випробування виробів на вплив зниженої граничної температури середовища;
- метод 205 - випробування виробів на циклічний вплив змін температур.

Конкретний метод встановлюють залежно від призначення, умов експлуатації, конструктивних особливостей РЕЗ і вказують в стандартах і ТУ на виріб або в ПВ.

#### **4.1.3 Обладнання для випробувань на температурні впливи**

Для проведення випробувань на температурні впливи застосовують камери тепла, холоду або комбіновані камери: термовологокамери, термобарокамери, камери тепла і холоду, камери термоцикування.

Під час установки виробів в камери кліматичних випробувань необхідно стежити за тим, щоб між виробами і стінками камери, а також між самими виробами вільно циркулювало повітря. З цією метою мінімальні відстані між виробами і стінками камери, а також між самими виробами мають бути не менш 100 мм.

Вимоги до об'єму камер в залежності від розмірів випробовуваної апаратури і значення теплорозсіювання з одиниці її поверхні встановлюють з урахуванням рекомендацій державних стандартів.

Для зменшення впливу віддзеркалення теплового випромінювання від стінок камери на температуру у самій камері поверхні її стінок повинна мати коефіцієнт чорноти  $\epsilon$  не менш 0,8.

Якщо в процесі випробування електричне навантаження на РЕЗ не подається, вироби розташовують на сітках з капронових ниток, натягнутих на опори. При випробуванні з електричним навантаженням вироби встановлюють на спеціальних платах або пристосуваннях (касетах, що контактують з пристроями). Металеві

частини пристосувань обов'язково повинні мати антикорозійне покриття.

У випробувальних камерах необхідний тепловий режим і рівномірність температури за об'ємом камери забезпечується розміщенням нагрівальних елементів на дні, в стінках і двері камери або подачею нагрітого повітря (теплоносія) всередину металевої сорочки, що оточує корисний об'єм.

Отримання низьких температур може досягатися двома способами: безпосереднім охолодженням за допомогою охолоджуючого агента (рідкого азоту двоокису вуглецю, аміаку), а також непрямим охолодженням за допомогою компресорної установки.

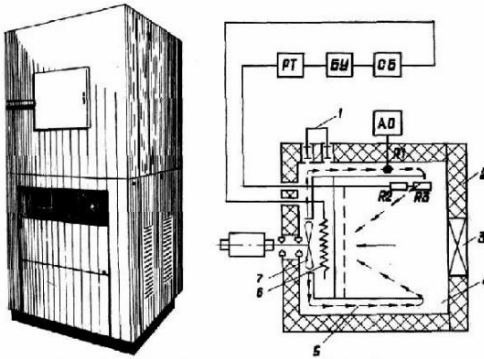
Непрямий спосіб охолодження заснований на властивості рідини при випаровуванні поглинати тепло з навколишнього середовища. Технічна реалізація даного способу заснована на застосуванні компресійної випарювальної системи, в одній частині якої газоподібний холодоагент (фреон) стискається до тиску, що забезпечує конденсацію, а в іншій частині - швидко розширюється. Охолоджуючий агент в установці використовується тривалий час, оскільки він циркулює в замкнутій системі.

Температурний режим в випробувальних камерах підтримується автоматично включенням або відключенням частини нагрівальних елементів або холодильної установки.

Для вимірювання та автоматичного регулювання температури застосовують контактні ртутні термометри, електронні мости, потенціометри, програмні пристрої, при цьому термочутливими датчиками є термопари або терморезистори.

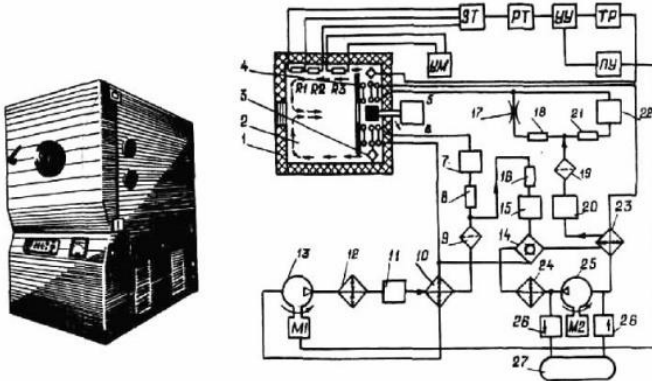
Розміщення датчиків контролю температури при випробуванні виробів, що розсіюють тепло, повинно враховувати можливість виключення взаємовпливу виробів один на одного з тим, щоб при встановленні температурного режиму вихідні вимірювальні прилади показували справжню температуру.

Зовнішній вигляд камер і їх схематичне зображення, яке пояснює принцип роботи, показані на рис. 4.1, 4.2, 4.3.



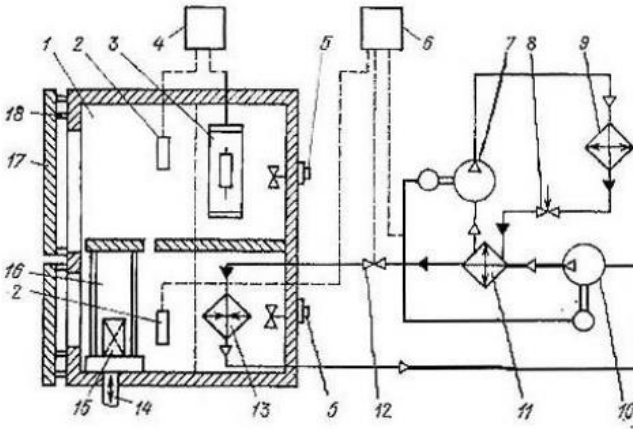
1 - засувка; 2 - двері; 3 - вікно; 4 - корисний об'єм; 5 - повітряпровід;  
6 - нагрівач; 7 - вентилятор; РТ - регулятор температури; БУ - блок  
керування; СБ - силовий блок; АО - блок аварійного відключення

Рисунок 4.1 - Камера тепла КТ-0,05-315М



1 - двері; 2 - корисний об'єм; 3 - нагрівач; 4, 6 - випарювачі; 5 -  
вентилятор; 7 - терморегулюючий клапан; 8 - соленоїдний клапан; 9, 20 -  
фільтри; 10, 14, 26 - теплообмінники; 11, 23 - клапани; 12 - конденсатор  
теплотехнічний; 13, 22 - компресори; 15 - конденсатор-випарювач; 16, 25 -  
термовентилі; 17, 19, 21, 24 - соленоїдні клапани; 18 - дюза; 27 - ємність; ЗТ -  
датчик температури; РТ - регулятор температури; БУ - пристрій  
керування; ТР - тиристорний регулятор; ПУ - пусковий пристрій; УМ -  
рівноважуючий міст

Рисунок 4.2 - Камера тепла і холоду КТХ-0,4-65/155



1 - камера тепла; 2 - датчики температури; 3 - електронагрівач; 4 - регулятор температури камери тепла; 5 - вісьовий вентилятор; 6 - регулятор температури камери холоду; 7, 10 - компресори верхнього ступеню холодильного агрегату; 8 - регулюючий вентиль; 9 - компресор нижнього ступеню холодильного агрегату; 11 - теплообмінник; 12 - регулюючий вентиль; 13 - випарник холодильного агрегату; 14 - пристрій переміщення виробу з камери в камеру; 15 - виріб; 16 - камера холоду; 17 - двері; 18 - ущільнення

Рисунок 4.3 - Схема обладнання для випробувань на циклічний вплив температур

Конструкції та основні параметри сучасних термокамер та систем для температурних випробувань і термоцикування можна глянути у [13].

#### 4.1.4 Вплив підвищеної вологості на працездатність РЕЗ

Характер впливу вологи на РЕЗ та її елементи визначається властивостями води в рідкому, твердому і газоподібному станах, наявністю розчинених домішок і їх властивостями.

Можливі дві основні форми взаємодії води з матеріалами.

За першою волога проникає в тріщини, зазори, капіляри або знаходиться на поверхні, утримуючись на його дрібнодисперсних частинках. Це погіршує фізико-хімічні, електричні та теплові властивості, прискорює процеси старіння.

При другій формі вода виявляється хімічно пов'язаною з елементами речовини, що призводить до прискорення процесів корозії металів, до гідролізу і сприяє розпаду деяких матеріалів, що нерідко призводить до виходу з ладу різних ЕРЕ.

При ненадійному захисті від вологи в різних типах конденсаторів з твердим діелектриком різко знижується опір ізоляції, зростають ємність і втрати, зменшується допустима величина робочої напруги. У керамічних і герметизованих конденсаторах волога, хоча і не проникає всередину, але, конденсуючись на поверхні, зменшує поверхневий опір ізоляції. Наявність парів води в повітрі викликає зміну його діелектричної проникності, що в свою чергу призводить до зміни ємності конденсаторів з повітряним діелектриком і порушення стабільності РЕЗ. Проте, конденсатори з повітряним діелектриком і великими зазорами найбільш стійкі проти дії вологої атмосфери. На ємність конденсаторів з повітряним діелектриком впливає також корозія його металевих обкладин.

Волога інтенсивно впливає на опір резисторів різних типів і конструкцій.

Періодична дія вологи на тонкошарові плівкові резистори типу ПС або МЛТ призводить до набухання лакового покриття і часткового відриву провідного шару від основи, наслідком чого є зменшення опору і поверхневий пробій, зменшення надійності контактів.

У дрітних резисторах наявність вологи призводить до корозії і інтенсивного окислювання провідників і особливо поверхонь рухомих контактів, що сприяє зменшенню фактичного перетину провідників, зростанню їх опору і зниженню надійності контактів.

При впливі вологи на високочастотні котушки і дроселі збільшуються власні ємності, втрати і відповідно знижується добротність. Більш чутливі до дії вологи котушки з каркасами з гігроскопічних матеріалів, намотані проводами в шовкової і бавовняної ізоляції. Дія вологи знижує добротність таких котушок до 40%.

У трансформаторах і дроселях низької частоти відбувається не тільки зростання втрат, а й збільшується місцевий тепловий перегрів, що погіршує коефіцієнт корисної дії трансформатора і змінює індуктивність дроселя. Волога, проникаючи через тріщини в заливці, зменшує опір міжвиткової і міжшарової ізоляції, сприяє розвитку

електрохімічних процесів між витками, що збільшує ймовірність коротких замикань.

#### **4.1.5 Загальні відомості про випробування на вплив підвищеної вологості**

Розрізняють два види випробувань на вологостійкість: тривалі і прискорені.

**Прискорені випробування** проводять з метою оперативного виявлення грубих технологічних дефектів, які можуть виникнути через порушення технології виробництва виробів і низьку якість застосовуваних в виробництві матеріалів, а також з метою виявлення дефектів, які можуть виникнути у виробах при інших видах випробувань.

Прискорені випробування проводяться за методами 207 та 208.

Залежно від умов експлуатації, в яких повинні працювати випробовувані вироби, їх піддають циклічним або безперервним випробуванням з випаданням і без випадання роси.

**Циклічним випробуванням** піддають вироби, призначені для роботи на відкритому повітрі і в відкритих виробничих приміщеннях, під навісами, а також в критих транспортних засобах.

**Безперервним випробуванням** на вологостійкість піддають вироби, призначені для роботи в приміщеннях, де немає різких змін температури повітря, сонячної радіації і опадів.

Будь-якому виду випробувань передуює візуальний огляд і вимірювання параметрів виробу.

Далі вироби поміщають в камеру вологості, підвищують температуру до  $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$  і витримують при цій температурі протягом часу, зазначеного в стандартах, ТУ на вироби і ПВ, але не менше 1 год.

Потім, в залежності від заданого режиму випробувань, встановлюють необхідну температуру і відносну вологість (зазвичай 95...98%).

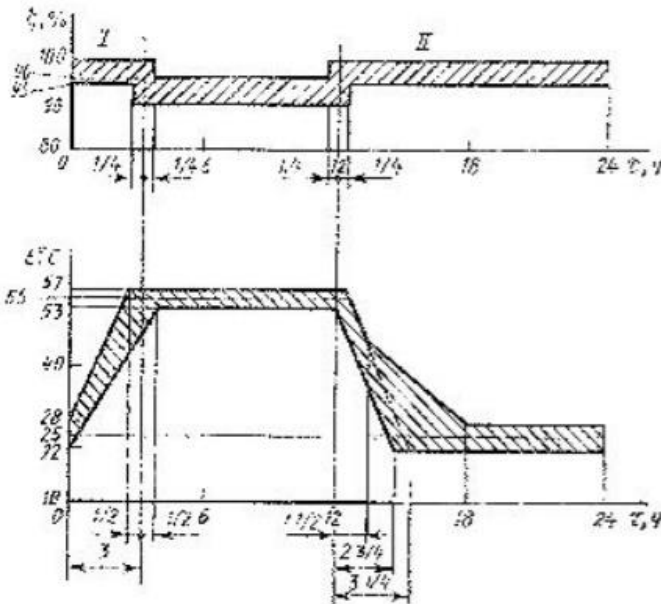
**При безперервних випробуваннях** температуру і вологість в камері підтримують постійними протягом всього часу випробувань (від 2 до 10 діб при прискореному і від 10 до 56 діб при тривалому впливі).

**Циклічний режим випробування** характеризується впливом підвищеної вологості при циклічній зміні температури повітря в

камері. В результаті створюються умови для випадіння роси на зовнішніх поверхнях виробів (при швидкому зниженні температури) і подальшого її випаровування, що сприяє інтенсивному розвитку корозії.

В разі тривалого випробування на вологостійкість при циклічному режимі загальна тривалість випробування в залежності від ступеня жорсткості умов експлуатації вибирається з ряду 4; 9; 21 або 42 добових циклів, а при прискореному випробуванні - 4 або 9 циклів.

Кожен цикл тривалістю в 24 години складається з етапів, показаних на рис. 4.4.



I - кінець підйому температури; II - початок падіння температури;  $\tau$  - 1/4 год. - час, протягом якого не допускається конденсація вологи у виробх

Рисунок 4.4 - Етапи зміни відносної вологості  $\zeta$  і температури  $t$  навколишнього середовища в циклічному режимі прискореного випробування виробів

Підвищення температури і вологості при проведенні кожного циклу має бути досить швидким, щоб забезпечити випадіння роси на виробах.

Рекомендована температура тривалих випробувань  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ , при прискорених  $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

**У безперервному режимі випробувань** не передбачається конденсація вологи на виробах, тому безперервне випробування проводять при постійних значеннях температури і вологості камери.

Вироби поміщають в камеру тепла і вологи і витримують при заданій температурі, яка залежить від ступеню жорсткості.

Час витримки при заданій температурі визначається часом досягнення виробами теплової рівноваги.

Потім відносну вологість повітря в камері підвищують до  $95\pm 3\%$  і далі підтримують це значення постійним протягом всього часу випробувань.

Методики проведення прискорених випробувань виробів в безперервному і циклічному режимах аналогічні.

Після закінчення прискореного режиму випробувань вироби витримують в нормальних умовах протягом 1...2 год., в той час як після закінчення тривалих випробувань - не менше 24 год.

Випробування виробів під електричним навантаженням проводять в тому випадку, якщо в умовах експлуатації у цих виробів при зволоженні під напругою можливий прояв руйнівної дії електролізу або електрохімічної корозії.

У процесі випробування рекомендується періодично перевіряти параметри виробів, обумовлені в ПВ і ТУ.

Перед вимірюванням параметрів вироби прогрівають (витримують у включеному стані) протягом часу, зазначеного в ПВ або ТУ, але не більше 15 хв.

Тривалість вимірювань не повинна перевищувати 10...15 хв.

При вимірах в камері в процесі випробувань необхідно враховувати теплове випромінювання виробів, яке може вносити зміни в режим роботи камери.

Вимірювання параметрів слід проводити при відсутності роси на поверхні РЕЗ.

#### 4.1.6 Обладнання для випробувань на вплив підвищеної вологості

Для випробування РЕЗ і їх елементів на вплив вологості використовують камери вологості або комбіновані термовологокамери.

Камери повинні забезпечувати отримання повітря з певною температурою, вологістю і швидкістю руху. При цьому повинен відтворюватися постійний або циклічний режим випробувань.

Випробувальна камера, як правило, складається з робочого відсіку, в якому розміщують вироби, осушувально-зволожувальні пристрої, вентилятори, вимірювачі вологості, допоміжні пристрої і електрообладнання.

Для отримання в камері заданого режиму необхідно досить точно регулювати вміст води та температуру повітря, оскільки незначні зміни температури супроводжуються значними коливаннями відносної вологості близько точки роси.

Для підтримки відносної вологості  $95 \pm 3\%$  в діапазоні температур  $40 \dots 70^\circ \text{C}$  потрібна точність регулювання за сухим термометром  $\pm 0,3^\circ \text{C}$ , а за вологим до  $\pm 0,2^\circ \text{C}$ .

Для забезпечення необхідної вологості повітря в випробувальних камерах застосовується ряд способів (див. рис. 4.5).

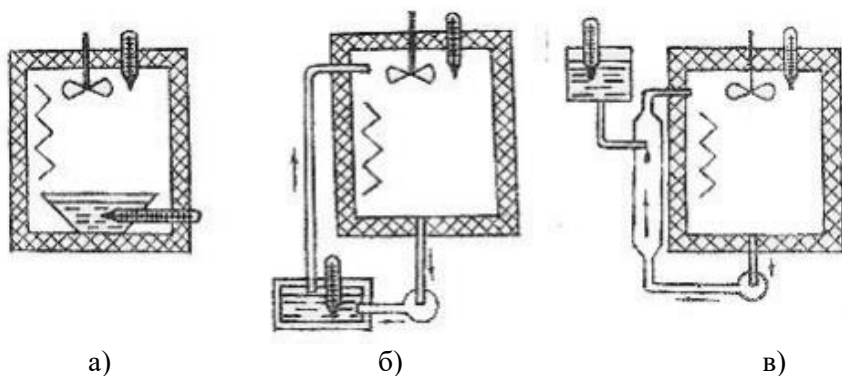


Рисунок 4.5 - Способи зволоження повітря

Найпростішим є відкритий спосіб (рис. 4.5а), що відтворює природні умови зволоження.

Його недоліком є труднощі підтримки необхідного режиму.

Характерною особливістю закритих способів зволоження є рециркуляція повітря з робочого об'єму камери через зволожувальний пристрій (зволожувач).

У зволожувачі повітря або продувається через шар підігрітої води (рис. 4.5б), або змішується з розпорошеною водою (рис. 4.5в).

Іноді для імітації швидких добових змін температури і вологості повітря в випробувальний об'єм вводиться водяна пара.

Керування, сигналізація і контроль режиму випробування виконуються вручну або автоматично.

Автоматична підтримка режиму роботи термовологокамери заснована на спільній дії датчиків температури і вологості з програмними пристроями та виконавчими механізмами.

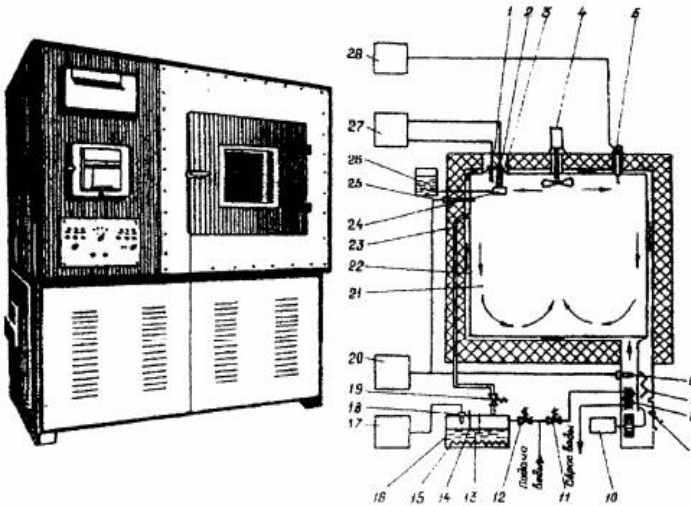
Для вимірювання вологості повітря в випробувальних камерах застосовують гігрометри, в яких використовується психрометричний або сорбційний метод вимірювання вологості.

Психрометричний метод заснований на принципі порівняння температури повітря і температури тіла, з поверхні якого відбувається випаровування води.

Сорбційний метод заснований на використанні гігроскопічних тіл, властивості яких змінюються в залежності від кількості поглиненої вологи. Залежно від властивості матеріалу, використаного для вимірювання, розрізняють деформаційні, вагові, колірні і інші сорбційні гігрометри.

У системах автоматичного регулювання температури і вологості у якості датчиків найбільш часто використовуються ртутні контактні термометри, терморезистори, термопари і деформаційні гігрометри.

Зовнішній вигляд і схема камери тепла і вологи КВТ-0,4-155 наведені на рис. 4.6.



1 - сухий термометр; 2 - вологий термометр; 3 - чохол; 4,10 - вентилятори; 5,6,18,25 - платинові термометри опору; 7,15 - нагрівачі; 8 - змійовик; 9 - заслінка; 11,12,19 - соленоїдні вентилялі; 13,14 - датчики рівня води; 16 - паровий зволожувач; 17,20,27,28 - електронні мости; 21 - корисний об'єм камери; 22 - простір для циркуляції повітря; 23 - паровідвід; 24 - стакан підживлення; 26 - ємність з дистильованою водою

Рисунок 4.6 - Зовнішній вигляд і схема камери тепла і вологи КВТ-0,4-155

Конструкції та основні параметри сучасних камер тепла та вологи можна глянути у [13].

## 4.2 Завдання до роботи

4.2.1 Ознайомитися з методами випробувань на температурні впливи.

4.2.2 Ознайомитися з принципами дії та конструкціями устаткування для випробувань на температурні впливи.

4.2.3 Ознайомитися з методами випробувань на вплив підвищеної вологості.

4.2.4 Ознайомитися з принципами дії та конструкціями устаткування для випробувань на вплив підвищеної вологості.

4.2.5 Провести випробування автогенераторів з кварцевою стабілізацією частоти на теплостійкість.

### 4.3 Устаткування та прилади

Для проведення випробувань на теплостійкість, при яких необхідно реєструвати вихідні параметри автогенераторів (вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$ , частота  $f$ , викривлення вихідного сигналу  $X_i$ ), необхідно мати наступні контрольно-вимірювальні прилади й устаткування:

- об'єкт випробування - автогенератори із кварцевою стабілізацією частоти на транзисторах (у кількості 4 шт.), частота коливальних яких складає  $f = 111009076$  Гц;
- осцилограф електронний 31-72;
- мікровольтметр УЗ-57;
- термічна шафа ТШ-100;
- термометр ртутний ( $0-100^{\circ}\text{C}$ );
- блок комутації;
- набір монтажних термостійких проводів.

### 4.4 Порядок виконання експериментальної частини

4.4.1 Вивчити опис лабораторної роботи.

4.4.2 Підготувати устаткування і прилади до роботи. Зібрати схему відповідно до рис. 4.7, помістивши автогенератори в термошафу.

4.4.3 Повідомити викладача про готовність до виконання роботи, одержати дозвіл на включення приладів у мережу.

4.4.4 Послідовно підключаючи кожний з автогенераторів до вимірювальних приладів, зняти їхні характеристики (форму імпульсу й амплітуду напруги).

4.4.5 Включити термошафу, давши їй прогрітись до температури  $+40\dots 50^{\circ}\text{C}$ .

4.4.6 По черзі переключаючи автогенератори, знімати характеристики для кожного з них.

**Примітка.** Виміри робити до температури  $+70\dots 80^{\circ}\text{C}$ .

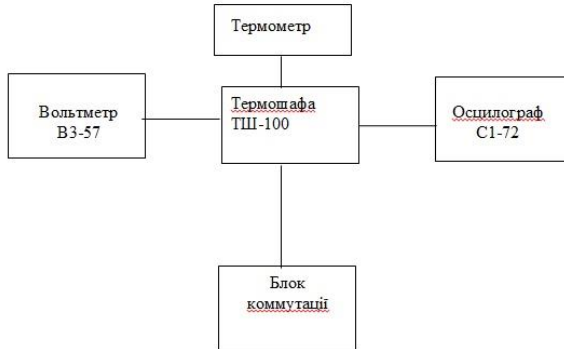


Рисунок 4.7 - Схема з'єднання вимірювальних приладів і устаткування при випробуваннях автогенераторів на теплостійкість.

## 4.5 Зміст звіту

4.5.1 Мета роботи.

4.5.2 Відповіді на контрольні запитання з вказівкою викладача.

4.5.3 Структурна схема вимірів.

4.5.4 Результати вимірів, виконані у виді таблиці (за формою таблиці 4.2).

4.5.5 Зробити висновки з виконаної роботи.

Таблиця 4.2 – Результати вимірів

| № генератора | $t, ^\circ\text{C}$ | U, В | Форма імпульсу |
|--------------|---------------------|------|----------------|
| 1            | 20                  |      |                |
|              | 50                  |      |                |
|              | 70                  |      |                |
| 2            | 20                  |      |                |
|              | 50                  |      |                |
|              | 70                  |      |                |
| 3            | 20                  |      |                |
|              | 50                  |      |                |
|              | 70                  |      |                |
| 4            | 20                  |      |                |
|              | 50                  |      |                |
|              | 70                  |      |                |

## 4.6 Контрольні запитання

4.6.1 Вплив температури на працездатність РЕЗ.

4.6.2 Місце випробувань РЕЗ на вплив підвищених та знижених температур у життєвому циклі виробів.

4.6.3 Режими та умови випробування РЕЗ на вплив підвищених та знижених температур.

4.6.4 Суть та цілі випробувань на тепломіцність.

4.6.5 Суть та цілі випробувань на теплостійкість.

4.6.6 Випробування під термічним навантаженням.

4.6.7 Випробування під суміщеним термічним і електричним навантаженням.

4.6.8 Залежність кліматичних факторів від ступеню жорсткості.

4.6.9 Випробування на циклічний вплив зміни температури.

4.6.10 Вимоги до обладнання для випробувань на температурні впливи.

4.6.11 Засоби забезпечення необхідного температурного режиму у камерах тепла та холоду.

4.6.12 Конструктивні особливості камер тепла та холоду.

4.6.13 Конструктивні особливості обладнання для термоцикування.

4.6.14 Вплив підвищеної вологості на працездатність РЕЗ.

4.6.15 Види випробувань на підвищену вологість.

4.6.16 Суть та цілі прискорених випробувань на підвищену вологість.

4.6.17 Суть та цілі тривалих випробувань на підвищену вологість.

4.6.18 Особливості циклічних режимів випробувань на підвищену вологість.

4.6.19 Особливості безперервного режиму випробувань на підвищену вологість.

4.6.20 Обладнання для випробувань на підвищену вологість.

4.6.21 Способи зволоження повітря.

4.6.22 Схема для випробувань автогенераторів з кварцовою стабілізацією частоти на теплостійкість.

4.6.23 Пояснити результати випробувань автогенераторів з кварцовою стабілізацією частоти на теплостійкість.

## ЛІТЕРАТУРА

1 Випробування приладів і систем. Види випробувань та сучасне обладнання :навчальний посібник / В. В. Аврутов, І. В. Аврутова, В. М. Попов ; НТУУ «КПІ». — Електронні текстові дані. — Київ : НТУУ «КПІ», 2009.

2 Голобородько М.Ю. Загальні вимоги до видів, послідовності та умов проведення випробувань радіоелектронного обладнання / М.Ю. Голобородько, І.Г. Зотова; О.С. Левшенко та інші. - // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. - 2018. - № 1, с. 86-92.

3 В.К. Федоров, Н.П. Сергеев, А.А. Кондрашин. Контроль и испытания в проектировании и производстве РЭС. М.: Техносфера, 2005. – 504 с.

4 Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование: Учеб. пособие для вузов /О.П. Глудкин, А.Н. Енгальчев, А.И. Коробив, Ю.В. Трегубов; Под ред. А.И. Коробова. - М.: Радио и связь, 1987. - 272 с.: ил.

5 Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС.- М.: Вища школа, 1991. - 336 с.

6 ГОСТ 2.106-96. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

7 ГОСТ 11478-88 Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и методы испытаний в части механических и климатических воздействий.

8 ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

9 ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний.

10 ГОСТ 16962-71. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.

11 ГОСТ 20.57.406-81. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний.

12 Испытательное оборудование. Каталог продукции SOVTEST. URL: <https://sovtest-ate.com/equipment/oborudovanie-dlya-mekhanicheskikh-ispytaniy/> (дата звернення 29.11.2019).

13 Каталог ВО УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ. URL: [http://ukrsk.com.ua/ustan\\_ispyit\\_vibr\\_elek.html](http://ukrsk.com.ua/ustan_ispyit_vibr_elek.html) (дата звернення 29.11.2019).

14 Основи теорії випробувань. Конспект лекцій з дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ", частина 1 для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Шило Г.М., Поспеева І.Є. – Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2019. – 98 с.

15 Методики випробувань РЕЗ на зовнішні впливи. Конспект лекцій з дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ", частина 2 для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Шило Г.М., Поспеева І.Є. – Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2019. – 87 с.