

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**



**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**  
**з дисципліни**  
**“Методи та засоби дослідження РЕЗ”**

для студентів спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми  
«Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки»)  
усіх форм навчання

2019

Конспект лекцій з дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Шило Г.М., Поспєєва І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 104 с.

Укладачі: Шило Галина Миколаївна, канд. техн. наук,  
доцент, зав. каф. ІТЕЗ,  
Поспєєва Ірина Євгенівна, ст. викладач.

Рецензент: Бугрова Тетяна Іванівна, канд. техн. наук,  
доцент каф. РТТ

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

Розглянуто  
на засіданні кафедри ІТЕЗ  
протокол № 12 від 26.06.18 р.

Затверджено  
на засіданні НМК ФРЕТ  
протокол № 1 від 23.08.18 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ПОНЯТТЯ ЯКОСТІ. РОЛЬ ВИПРОБУВАНЬ І КОНТРОЛЮ У ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ РЕЗ.....	7
1.1 Поняття якості продукції. Фактори, що впливають на якість сучасних РЕЗ.....	7
1.2 Роль стандартизації та сертифікації у підвищенні якості РЕЗ... 10	
2 ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ РЕЗ.....	12
2.1 Внутрішні фактори.....	12
2.2 Зовнішні фактори .....	13
2.3 Механічні ЗВФ .....	13
2.4 Кліматичні та термічні ЗВФ.....	14
2.5 Біологічні ЗВФ.....	15
2.6 Інші ЗВФ .....	15
2.7 Вплив ЗВФ на РЕЗ.....	16
3 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИПРОБУВАНЬ .....	18
3.1 Основні поняття. Цілі та завдання випробувань РЕЗ .....	18
3.2 Класифікація видів, методів і технологій випробувань.....	20
3.2.1 Класифікація випробувань РЕЗ в залежності від зовнішніх факторів .....	20
3.2.2 Класифікація випробувань РЕЗ за умовами, місцем, технологією та організацією проведення .....	21
3.2.3 Класифікація випробувань РЕЗ за програмними цілями і призначенням .....	23
3.2.4 Класифікація випробувань РЕЗ за місцем випробувань ...	24
3.2.5 Класифікація випробувань РЕЗ за місцем і функціями в серійному виробництві.....	25
3.2.6 Класифікація випробувань РЕЗ за тривалістю проведення .....	26
3.2.7 Класифікація випробувань РЕЗ за цільовим результатом впливу випробувань на стан виробу .....	26
3.2.8 Класифікація випробувань РЕЗ за характером укрупненого визначення параметрів .....	27
3.3 Загальні принципи проведення випробувань РЕЗ.....	28
3.4 Вибір об'єктів випробувань .....	33
4 МЕТОДИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ НА МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ.....	36

4.1 Загальна структура і методичні принципи проведення випробувань .....	36
4.1.1 Загальна структура методики механічних випробувань .....	37
4.1.2 Вимоги до обладнання для механічних випробувань .....	39
4.1.3 Проведення випробувань .....	39
4.2 Випробування на механічний резонанс .....	40
4.2.1 Випробування на визначення резонансних частот конструкції.....	40
4.2.2 Випробування на наявність резонансних частот конструкції в заданому діапазоні частот .....	41
4.3 Випробування на вібростійкість .....	42
4.3.1 Випробування на вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації .....	43
4.3.2 Випробування на вібростійкість при впливі широкосмугового випадкової вібрації .....	45
4.4 Випробування на віброміцність .....	45
4.4.1 Випробування методом частоти, що хитається .....	46
4.4.2 Випробування методом фіксованих частот у всьому діапазоні.....	51
4.4.3 Випробування шляхом впливу широкосмугового випадкової вібрації .....	53
4.5 Випробування на ударну міцність і стійкість.....	54
4.5.1 Випробування на ударну міцність.....	54
4.5.2 Випробування на ударну стійкість.....	56
4.5.3 Випробування на вплив одиночних ударів.....	57
4.6 Випробування на вплив лінійного прискорення .....	59
4.7 Випробування на вплив акустичного шуму .....	61
4.7.1 Випробування на вплив випадкового акустичного шуму... 61	
4.7.2 Випробування на вплив акустичного тону мінливої частоти .....	63
<b>5 МЕТОДИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ НА КЛІМАТИЧНІ ВПЛИВИ .....</b>	<b>64</b>
5.1 Особливості випробувань на кліматичні впливи .....	64
5.1.1 Попередня витримка.....	64
5.1.2 Установка виробів в камери кліматичних випробувань .....	65
5.1.3 Зовнішній огляд виробів .....	66
5.1.4 Особливості проведення випробувань на кліматичні впливи на різних стадіях проектування. Нормалізована послідовність кліматичних випробувань .....	66

5.2	Випробування на температурні впливи .....	67
5.2.1	Випробування на підвищену температуру .....	67
5.2.2	Випробування на знижену температуру .....	69
5.2.3	Випробування на зміну температур .....	70
5.3	Випробування на вплив підвищеної вологості.....	72
5.3.1	Випробування без конденсації вологи (безперервний режим).....	73
5.3.2	Випробування з конденсацією вологи (циклічний режим). 74	
5.4	Випробування на вплив інею і роси .....	78
5.5	Випробування на вплив соляного туману.....	79
5.6	Випробування на зовнішній вплив води .....	80
5.7	Випробування на вплив тиску - атмосферного та гідростатичного .....	83
5.7.1	Випробування на вплив зниженого атмосферного тиску ...	83
5.7.2	Випробування на вплив підвищеного атмосферного тиску	84
5.7.3	Випробування на вплив підвищеного гідростатичного тиску .....	85
5.8	Випробування на вплив пилу .....	85
5.8.1	Випробування на вплив статичного пилу.....	86
5.8.2	Випробування на вплив динамічного пилу .....	86
5.9	Випробування на вітростійкість .....	87
5.10	Випробування на вплив сонячного випромінювання .....	88
5.11	Випробування на герметичність .....	90
6	ВИПРОБУВАННЯ РЕЗ НА БІОЛОГІЧНІ ВПЛИВИ .....	93
6.1	Випробування на вплив цвілевих грибів .....	93
6.2	Випробування на стійкість матеріалів до дії комах .....	95
6.3	Випробування на стійкість матеріалів до впливу гризунів .....	96
7	СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ.....	97
7.1	Випробування на радіаційні впливи.....	97
7.2	Спеціальні космічні випробування.....	99
7.2.1	Випробування на забезпечення теплового режиму РЕЗ .....	99
7.2.2	Випробування на роботу РЕЗ в умовах невагомості .....	100
7.2.3	Випробування на вплив потоків твердих частинок, сонячного вітру та різних видів випромінювання .....	101
7.2.4	Комплексні космічні випробування .....	102
	ЛІТЕРАТУРА.....	104

## ВСТУП

Якість радіоелектронних засобів (РЕЗ), як сукупність властивостей, що визначають здатність виробів задовольняти заданим вимогам споживача, закладається в процесі розробки і виготовлення продукції, а об'єктивно оцінюється в процесі експлуатації.

Однак, інформації, що при цьому отримується, по-перше, недостатньою, оскільки не всі параметри РЕЗ, вимірюються в умовах експлуатації, а по-друге, - вона запізніла, оскільки на виготовлення РЕЗ вже витрачені великі кошти. Ця проблема посилюється в міру подальшої мікромініатюризації РЕЗ, коли цілі блоки виконуються у вигляді інтегральних мікросхем, які є неремонтоздатними.

Одним з методів оцінки якості служать теоретичні розрахунки. Однак розрахункові оцінки потребують експериментального підтвердження, оскільки вихідні дані і моделі є наближеними. З розвитком мікромініатюризації і ускладненням РЕЗ створення адекватних моделей стає проблематичним.

У зв'язку з цим істотний обсяг інформації про якість РЕЗ отримують шляхом контролю їх параметрів і проведення випробувань на всіх етапах, починаючи з розробки нормативно-технічної документації і закінчуючи аналізом рекламацій і висновків споживача про якість готових виробів.

Випробування РЕЗ є одним з елементів процесу контролю з метою визначення технічних показників апаратури (приладів) за допомогою різних засобів. До цих показників відносяться різні технічні параметри, надійність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість і ін.

**Під випробуванням РЕЗ** розуміється комплекс контрольно-перевірочних робіт, пов'язаних з виявленням окремих характеристик випробовуваної апаратури, її вузлів і блоків, який включає перевірку: відповідності РЕЗ технічним завданням і конструкторській документації, працездатності апаратури при впливі на неї граничних механічних і кліматичних факторів, випробування на електромагнітну сумісність і ін.

Метою дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ" є вивчення основ теорії випробувань та устаткування для випробувань та засобів виміру, що дозволяють відтворити умови зовнішніх впливів, а також отримання практичних навичок розробки програм й методик випробувань.

# **1 ПОНЯТТЯ ЯКОСТІ. РОЛЬ ВИПРОБУВАНЬ І КОНТРОЛЮ У ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ РЕЗ**

## **1.1 Поняття якості продукції. Фактори, що впливають на якість сучасних РЕЗ**

**Якість продукції - сукупність властивостей, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.**

Зростаюче значення проблем якості радіоелектронних засобів (РЕЗ), що спостерігається останнім часом, багато в чому обумовлено різким ускладненням радіоелектронних засобів та їх широким впровадженням в усі сфери наукових досліджень, виробництва і управління, не кажучи вже про спеціальні областях їх застосування.

Якість сучасних РЕЗ розглядається як комплексний показник, що залежить від загального наукового рівня розвитку розробок, якості виробів електронної техніки, досконалості технології і метрологічного забезпечення виробництва.

Проблеми якості РЕЗ повинні вирішуватися вже на самих ранніх стадіях і етапах проектування і розробок технологічних процесів. Але наявність у РЕЗ сукупності технологічних властивостей ще не характеризує їх якість. Важливо кількісно оцінити властивості радіоелектронних виробів, з яких складається ця якість.

**Таким чином, якість сучасних РЕЗ у вирішальній мірі залежить від правильної постановки, організації, методики і технології контролю, вимірювань і випробувань, які виконуються на всіх етапах комплексного процесу проектування і виробництва, і в цілому від рівня метрологічного забезпечення виробництва.**

Важливість випробувань, вимірювань і контролю якості обумовлюється тим, що сучасні РЕЗ представляють собою складні багатофункціональні вироби, які містять величезну кількість виробів електронної техніки, виробів точної механіки, електромеханіки і приладобудування, зібраних в складних компонувальних складальних одиницях, об'єднаних внутрішньоблокові і міжблочні монтажем систем і пристроїв відображення інформації та управління і т.п., які

повинні з високою точністю, якістю та надійністю виконувати функції з прийому, переробки та передачі інформації, часом в умовах коригувань, координації та переміщення в просторі, і забезпечувати в цілому комплексну надійність РЕЗ.

Процес вимірювань, контролю та випробувань РЕЗ ускладнюється ще й тим, що проектування і виробництво радіоелектронної техніки проводиться в умовах все більш широкій мікромініатюризації рішень і має справу з елементами мікронних і субмікронних розмірів. У виробництві застосовуються новітні, особливо чисті матеріали і високі наукомісткі технології із застосуванням прецизійного спецтехнологічного обладнання і апаратури та контроль параметрів таких технологічних процесів виливається в складну інженерну задачу.

Підвищення якості РЕЗ стало одним з головних шляхів поліпшення якості виробів машино- і приладобудування, підвищення експлуатаційної надійності і якості праці операторів в різних системах управління, а, отже, підвищення продуктивності праці та ефективності, в різних сферах науки, управління і виробництва.

Задача підвищення якості нерозривно пов'язана з удосконаленням системи організаційно-технічних, конструкторсько-технологічних та експлуатаційних робіт, спрямованих на поліпшення тактико-технічних параметрів радіоелектронних засобів, зростання їх експлуатаційної надійності, поліпшення зручності в експлуатації, зовнішнього вигляду і т.п.

Серед вимог до якості РЕЗ зазвичай прийнято називати технічні (функціональні) і економічні показники, надійність, рівень уніфікації. Це дійсно важливі показники, однак всі ці показники можна розглядати лише як частину складної системи споживчих властивостей, які повинні мати сучасні вироби РЕЗ, серед яких особливе місце займають естетичні та ергономічні показники для виробів РЕЗ, з якими безпосередньо працює оператор.

Таким чином, при визначенні якості радіоелектронної апаратури необхідно розглядати єдиний комплекс технічних, соціально-економічних і споживчих (ергономічних і естетичних) вимог. Безумовно, вагомість тих чи інших вимог в цьому комплексі змінюється в залежності від того, якість яких виробів розглядається. Для одних вирішальне значення гратимуть такі технічні характеристики, як надійність, довговічність і т.п., для інших поряд з

технічними параметрами починають відігравати суттєву роль ергономічні і економічні показники.

Методи оцінки технічних і технологічних показників якості радіоелектронних виробів досить добре вивчені і широко застосовуються в практиці проектування і виробництва. Вони можуть бути досить повно і об'єктивно оцінені при приймально-здавальних, періодичних, типових випробуваннях, випробуваннях на надійність і т.п. Можуть вони бути оцінені і за більш тривалий період експлуатації РЕЗ шляхом статистичного аналізу даних від споживача.

Аналіз ситуації, що склалася на підприємствах, які розробляють радіоелектронну продукцію, і в багатьох сферах застосування і тривалої експлуатації РЕЗ показує, що успішне вирішення проблеми забезпечення високої якості виробів неможливе шляхом проведення розрізаних локальних заходів, концентруючи увагу тільки на якійсь одній стадії забезпечення якості виробів і тим більше на окремо взятих показниках якості, нехай навіть і найбільш значущих і важливих.

Необхідно розуміти і те, що якість РЕЗ, в свою чергу, залежить від якості сировини, якості конструкційних та оздоблювальних матеріалів, якості комплектуючих і кабельних виробів, впровадження високих наукоємних технологій та наукових методів організації виробництва і т.п.

Аналіз оснащення випробувальних підрозділів підприємств галузі показав, що основна частка (понад 90%) випробувального устаткування використовується більше 10 років, і вже давно морально застаріло. Крім того, практично немає засобів автоматизації випробувань і вимірювань, відсутні кваліфіковані кадри. Обладнанням, яке відповідає сучасним вимогам, оснащені лише одиниці підприємств.

А тому процес підвищення якості конструкцій РЕЗ обумовлюється насамперед такими заводськими факторами, як модернізація існуючого та створення нового інструменту, технологічне оснащення, загальнозаводське і спецтехнологічне обладнання та матеріали, організаційне, структурне поліпшення всіх ланок технологічного процесу, перехід до більш високого рівня автоматизації виробництва і т.п.

Важливе значення для якості радіоелектронних виробів мають їх правильна експлуатація, рівень стандартизації і уніфікації, економічні фактори і т.п.

## **1.2 Роль стандартизації та сертифікації у підвищенні якості РЕЗ**

Найважливіша роль в підвищенні якості об'єктів радіоелектронної галузі належить стандартизації і сертифікації.

**Стандартизація** дозволяє забезпечувати стабільний рівень якості РЕЗ, дає можливість керувати ним вже з перших етапів проектування, а **сертифікація** - контролювати рівень якості продукції, сприяти довірі споживача до постачальника, а також підвищувати конкурентоспроможність виробів.

Незважаючи на те, що існуючий на сьогоднішній день фонд нормативної документації з радіоелектронної галузі налічує декілька тисяч одиниць (державні та галузеві стандарти, керівні документи і т.ін.), більшість з них морально застаріли, не відповідають сучасним вимогам ринку і потребують ретельного перегляду і актуалізації. А тому необхідна розробка нового фонду нормативної документації, яка враховує специфіку радіоелектронного комплексу та відповідає передовим міжнародним тенденціям розвитку радіоелектроніки.

Радіоелектронні засоби високої надійності, що випускаються на атестованому виробництві, сертифікуються органом з сертифікації після надання в цей орган доказової документації, до якої відносяться:

- результати сертифікаційних випробувань;
- аналіз статистичних даних про якість і надійність РЕЗ;
- сертифікат на систему якості при виробництві РЕЗ;
- аналіз результатів виробництва РЕЗ, її відмов в процесі виробництва, заходів щодо усунення причин відмов і їх ефективності.

РЕЗ, які не мають індексу високої надійності, при необхідності піддаються сертифікаційним випробувань в обсягах, що гарантують придатність випробуваної партії даного виробу.

Відносно поставок комплектуючих виробів електронної техніки зарубіжного виробництва слід зазначити, що вони здійснюються численними дилерами, які, як правило, не мають офіційної акредитації на даний вид діяльності, а якість продукції не

підтверджується відповідними сертифікатами. Одним із шляхів, що забезпечують постачання високоякісних комплектуючих виробів РЕЗ, може бути їх сертифікація за правилами і процедурами національних регламентів і стандартів.

Сертифікація, як правило, пов'язана з проведенням комплексу випробувань і контролю якості продукції із застосуванням сучасного випробувального обладнання. З урахуванням зазначених проблем, сертифікацію продукції, що поставляється здійснюють в спеціалізованих випробувальних центрах.

## 2 ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ РЕЗ

Усі фактори, що діють на РЕЗ, підрозділяються на *зовнішні і внутрішні*.

До *зовнішніх факторів* відносять дію навколишнього середовища і особливості експлуатації, пов'язані з місцем установки виробу та умовами його транспортування. Зазначені зовнішні впливи можуть викликати обмеження або втрату працездатності виробу або його складових частин в процесі експлуатації.

*Внутрішніми факторами* для об'єктів техніки є процеси старіння і зношування.

### 2.1 Внутрішні фактори

Процеси старіння відбуваються безперервно, як під час роботи, так і під час зберігання і транспортування виробів.

Зношування проявляється в основному в процесі експлуатації і залежить від впливу зовнішніх факторів, від режимів експлуатації та роботи виробів. Імовірність впливу внутрішніх факторів зростає при збільшенні тривалості експлуатації і при порушенні режимів роботи, які можуть характеризуватися: частотою включень і перемикань, що викликає у виробках перехідні процеси; перенапруженнями; поштовхами та ін. Часті включення і перемикання деяких виробів можуть також впливати на механічне зношування їх конструктивних елементів. У виробках, призначених для циклічних режимів роботи, на теплові режими істотно впливають співвідношення тривалості роботи і перерв. Дія внутрішніх факторів у багатьох випадках залежить від схем і конструкцій виробів.

За часом і характером впливу режими експлуатації і роботи виробів можуть бути:

- безперервними;
- періодичними (циклічними);
- аперіодичними (одноразовими);
- повторно - переривчастими;
- випадковими.

## 2.2 Зовнішні фактори

Відповідний ГОСТ ділить усі зовнішні впливові фактори (ЗВФ) на наступні класи: механічні, кліматичні, біологічні, радіаційні, електромагнітні, спеціальних середовищ і термічні.

У свою чергу кожен клас поділяється на групи, а кожна група на види, яким відповідають певні види випробувань. Наприклад, клас кліматичних впливів ділиться на групи:

- атмосферний тиск;
- температура середовища;
- вологість повітря або інших газів та ін.

Групи в свою чергу поділяються на такі види:

- атмосферний підвищений або понижений тиск;
- підвищена і, відповідно, знижена температура середовища;
- зміна температури середовища та ін.

Одна з можливих класифікацій ЗВФ приведена на рисунку 1.1.

Для механічних ЗВФ вводиться ще одна градація - підгрупа.

Деякі види, групи та класи впливів визначаються призначенням виробів та їх взаємодією з середовищами, які створюються людиною в процесі його діяльності. До таких класів відносяться класи ЗВФ:

- спеціальних середовищ;
- радіаційні;
- електромагнітні;
- термічні.

Освоєння космосу призвело до необхідності виділення ще одного класу (не передбаченого стандартами), в який увійшли всі види так званих космічних впливів.

## 2.3 Механічні ЗВФ

Як впливає з класифікації, до механічних чинників відносять дві групи: *фактори статичного впливу* і *фактори динамічного впливу*.

До **факторів статичного впливу** відносяться такі види:

- розтяг;
- стиснення;
- вигин;
- кручення;
- зріз;
- вдавнення.

До механічних **факторів динамічного впливу** відносяться такі види як:

- удар;
- прискорення - лінійні або кутові, що викликає перевантаження або стан повної або часткової невагомості;
- вібраційні впливу;
- акустичний шум.

## 2.4 Кліматичні та термічні ЗВФ

Серед **кліматичних факторів** зазвичай виділяють впливи:

- сонячного випромінювання (в приповерхневих шарах атмосфери);
- вологи, що міститься в повітрі або будь-який інший суміші газів (під вологою розуміють пари будь-якої рідини);
- опадів, до яких зазвичай відносять - дощ, паморозь, сніг, лід та ін..;
- атмосфери (газовий склад, наявність домішок у вигляді рідких і твердих аерозолів, частинок пилу, піску.);
- тиску аеростатичного або гідростатичного (нормального, підвищеного, зниженого), його змін або перепадів;

До кліматичних факторів також відносять такий фактор, як вплив руху середовища, тобто вітер, хвильовий рух рідини та ін.

**Термічні впливи** в деяких випадках розглядаються як частина кліматичних впливів, а в інших виділяються в окремий клас. До них відносять вплив підвищеної, зниженої температури, її періодичні (термоцикування) і неперіодичні зміни.

## 2.5 Біологічні ЗВФ

Серед *біологічних факторів* зазвичай виділяють вплив на технічні системи:

- цвілевих грибів та інших мікроорганізмів;
- комах;
- гризунів.

Іноді у вигляді біологічного фактора впливу зовнішнього середовища можуть виступати і плазуни або тварини, але ймовірність такої ситуації набагато нижче, ніж для гризунів.

Це призводить до необхідності включення в цей клас ЗВФ і вплив людини, яка за своєю руйнівністю і масштабами може перевершити вплив інших біологічних факторів.

## 2.6 Інші ЗВФ

До радіаційних факторів відносять сукупність іонізуючих випромінювань, з якими технічна система може зіткнутися при своїй нормальній експлуатації. Це потоки  $\alpha$ - і  $\beta$ - частинок, протонів і нейтронів;  $\gamma$ - Re- і УФ випромінювання. Необхідно відзначити, що фактори цього класу здебільшого мають техногенне походження.

Це ж, в основному, можна сказати і про такий клас факторів, як вплив спеціальних середовищ. Мається на увазі вплив в основному хімічний, тобто кислот, лугів, розчинників і розчинів хімічно активних речовин.

До ЗВФ космічного простору в районі Землі або аналогічного космічного тіла можна віднести вплив:

- вакууму;
- власної зовнішньої атмосфери космічного апарату;
- атмосфери планети (склад і температура атмосфери);
- потоків нейтральних частинок в залежності від їх складу і швидкості;
- потоків заряджених частинок, що генеруються в атмосфері планети;
- «сонячного вітру»;
- сонячного космічного випромінювання;
- електромагнітного випромінювання Сонця;

- відбитого планетою Сонячного випромінювання;
- власного теплового випромінювання планети;
- Галактичних космічних випромінювань;
- потоків міжпланетної пилу і метеорних частинок;
- магнітного поля планети;
- замороженого магнітного поля «Сонячного вітру»;
- та ін..

Необхідно зауважити, що іноді одночасна дія декількох факторів класифікується як незалежний фактор, так одночасний вплив вібрації і ударного навантаження класифікується як тряска - ще один вид механічного навантаження технічних об'єктів.

## 2.7 Вплив ЗВФ на РЕЗ

Дія зовнішніх і внутрішніх факторів *на матеріали виробів* проявляється в основному шляхом наступних механізмів впливу:

- адсорбційного;
- дифузійного;
- хімічного;
- корозійного;
- радіаційного.

Фізико-хімічні процеси, що відбуваються при цьому, призводять до зміни значень параметрів і характеристик матеріалів і виробів, та в ряді випадків викликають відмови.

Можливі зміни *незворотні і зворотні*. Прикладами *незворотних змін* є корозія металів, зміна структури матеріалів при інтенсивному радіоактивному опроміненні та ін. До *зворотніх змін* відносяться такі, як відновлення властивостей матеріалу, що адсорбував гази або вологу своєю поверхнею; відновлення властивостей, значень параметрів і характеристик виробів після припинення температурних впливів та ін.

Таким чином, виникнення відмов можна уявити як тимчасової кінетичний процес, який залежить від змін структури і властивостей матеріалів, з яких виготовлено виріб.

Фізико-хімічні процеси, що виникають в матеріалах, можуть відбуватися у об'ємі і на поверхні виробів, в електричних ланцюгах, в

рухомих і нерухомих з'єднаннях. Причиною, яка призводить до появи зазначених процесів, є вплив зовнішньої енергії, що перетворюється при цьому з одного виду в інший.

Найбільш часто на виробі впливають такі види енергії:

- теплова;
- електрична;
- електромагнітна;
- механічна;
- хімічна.

Кожному виду енергії відповідає певний характер взаємодії між частинками в відповідних енергетичних полях. Під дією енергії одного або декількох видів у виробах виникають фізико-хімічні процеси, які можуть призводити до відмов. Найбільш поширені такі причини виникнення відмов:

- теплове руйнування (втрата теплової стійкості, перегорання, розплавлення та ін.);
- деформація і механічне пошкодження, включаючи порушення контактів, обриви і короткі замикання, порушення механічних фіксацій та ін.;
- електричне руйнування (пробою, порушення електричної міцності та ін.);
- електрохімічна корозія;
- радіаційне руйнування;
- зношування виробів,
- забруднення поверхонь деталей і виробів (порушення контактів, зміна фотометричних характеристик, погіршення зорового сприйняття інформації та ін.)

Одним із шляхів підвищення якості виробів можна вважати вивчення фізико-хімічних процесів в матеріалах, елементах і готових виробах, що відбуваються на стадії експлуатації, з метою їх врахування на стадіях розробки та виробництва.

Особливого значення набувають знання зазначених процесів для правильної організації випробувань і аналізу їх результатів.

## **3 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИПРОБУВАНЬ**

### **3.1 Основні поняття. Цілі та завдання випробувань РЕЗ**

**Випробування - експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик параметрів виробу шляхом впливу на нього або його модель спланованого комплексу зовнішніх впливаючих факторів (ЗВФ).**

Очевидно, що дані випробування є важливою експериментальною основою функціонування систем управління якістю, розглянутих у розділі 1.

При проведенні випробувань слід ввести таке поняття, як ступінь жорсткості.

**Ступінь жорсткості випробувань - умовний номер, що відображає інтенсивність перешкоди, що впливає на об'єкт, з параметрами, регламентованими в нормативній документації.**

Ступені жорсткості зазвичай позначаються арабськими або римськими цифрами (наприклад, I, IV, XII і т.ін.).

**Основними цілями випробувань РЕЗ є:**

3.1.1 Експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків, прийняття припущень і гіпотез, заданих показників якості РЕЗ, в умовах, близьких до експлуатаційних, а також отримання оцінок, що дозволяють визначити резерви підвищення якості конструкторсько-технологічних рішень і резерви надійності розроблених виробів.

3.1.2 Контроль якості технології та організації виробництва, дотримання у виробництві та експлуатації вимог технічної і технологічної документації.

3.1.3 Усунення дефектів взаємодії виробів в складі комплексів (систем) РЕЗ.

Виділяють три групи завдань, що вирішуються в ході проведення випробувань:

- отримання емпіричних даних, необхідних для проектування РЕЗ;

- встановлення відповідності виробу тактико-технічним вимогам;
- визначення граничних станів РЕЗ в процесі експлуатації.

Цілі випробувань не постійні - вони можуть змінюватися на різних етапах проектування, виробництва і експлуатації.

Таким чином, проведення випробувань направлене на виявлення:

- недоліків конструкції і технології виготовлення РЕЗ, які не дозволяють виробу якісно і надійно виконувати цільові функції в умовах експлуатації;
- відхилень від конструкції або технології, допущених виробництвом;
- прихованих випадкових дефектів матеріалів комплектуючих виробів, що не піддаються виявленню при існуючих методах технічного контролю;
- резервів підвищення якості та надійності конструктивно-технологічного рішення виробу.

Результати випробувань, а саме кількісні показники рівня якості та надійності виробів, використовуються при розробці РЕЗ, в яких ці вироби будуть функціонувати. Одночасно розробники РЕЗ за результатами випробувань виробів у виробництві виявляють відступи від конструкторської або технологічної документації, допущені в процесі виробництва, встановлюють причини зниження необхідного рівня якості і т.п. Якщо причина зниження якості виявляється не встановленою, вживаються необхідні заходи щодо вдосконалення засобів і методів технічного контролю продукції або в цілому технологічного процесу.

Для підвищення якості та надійності виробів, що випускаються, розробляють спеціальні види і методи випробувань, в тому числі, які забезпечують виявлення виробів з прихованими дефектами, що викликають появу ранніх відмов у РЕЗ. Такі випробування називаються тренуваннями (термотокове тренування, електротренування, тренування термоциклів і т. ін.). Режими тренувань вибирають такими, щоб вони не виробляли ресурсу зразків, що не містять дефектів, які викликають відмови при експлуатації.

Зазначені цілі і завдання випробувань є загальними для будь-якого виду РЕЗ. У той же час програми і методи проведення випробувань визначаються конкретним видом виробу, його цільовим призначенням, умовами експлуатації. Значення випробувань РЕЗ зростає зі збільшенням ступеня інтеграції і щільності компонування виробів.

## **3.2 Класифікація видів, методів і технології випробувань**

### **3.2.1 Класифікація випробувань РЕЗ в залежності від зовнішніх факторів**

В реальних умовах експлуатації на РЕЗ впливає складний комплекс різноманітних факторів навколишнього середовища як природного, так і штучного походження.

Для оцінки надійності та якості РЕЗ у виробництві передбачаються наступні види випробувань РЕЗ з точки зору зовнішніх факторів:

- випробування на кліматичні впливи;
- випробування на біологічні впливи;
- випробування на механічні дії;
- випробування на радіаційні та спеціальні види впливів.

Найбільш різноманітними за характером впливів та складністю в організації постановки виробничих випробувань є випробування на кліматичні та біологічні впливи.

- Виділяють наступні види кліматичних випробувань:
- випробування на підвищену температуру;
- випробування на знижену температуру;
- випробування на зміну температур;
- випробування на дії інею і роси;
- випробування на вплив підвищеної вологості повітря;
- випробування на вплив сонячного випромінювання;
- випробування на вплив пилу;
- випробування на вплив атмосферного тиску;

- випробування на вплив підвищеного гідростатичного тиску;
- випробування на вплив соляного туману;
- випробування на зовнішній вплив води;
- випробування на вітростійкість;
- випробування на герметичність;
- випробування на біологічні впливи.

Не менше значення мають і випробування РЕЗ на механічні впливи.

Визначають такі види випробувань на механічні впливи:

- випробування на визначення наявності і відсутності резонансних частот конструкцій;
- випробування на вібростійкість і віброміцність;
- випробування на ударну міцність і стійкість;
- випробування на вплив лінійних навантажень;
- випробування на вплив акустичного шуму.

Особливий вид для РЕЗ космічного застосування являють собою радіаційні та спеціальні види космічних випробувань.

### **3.2.2 Класифікація випробувань РЕЗ за умовами, місцем, технологією та організацією проведення**

Всі зазначені види випробувань можуть бути класифіковані за умовами, місцем, технологією та організацією проведення на дві великі групи;

- фізичні (натурні) випробування РЕЗ (або їх дослідних і макетних зразків);
- випробування з використанням моделей РЕЗ.

**Фізичні випробування РЕЗ** можуть проводитися, як при впливі зовнішніх факторів, що створюються штучним шляхом в лабораторних умовах із застосуванням спеціальних випробувальних стендів і спеціального випробувального устаткування, так і при впливі природних зовнішніх факторів.

Залежно від зазначених умов і організації випробувань вони класифікуються на:

- лабораторні випробування;

- стендові випробування;
- полігонні випробування;
- натурні випробування;
- експлуатаційні випробування.

**Лабораторні та стендові випробування РЕЗ** відрізняються від випробувань в умовах реальної експлуатації тим, що при їх проведенні поки ще не представляється можливим моделювати всі зовнішні впливи одночасно в тій же сукупності, яка має місце при реальній експлуатації.

Зазвичай при лабораторних та стендових випробуваннях РЕЗ піддаються впливу одного або декількох певних кліматичних, механічних або інших чинників.

**Полігонні випробування РЕЗ** проводять на спеціально обладнаних полігонах. Широко поширені полігонні випробування РЕЗ, призначених для експлуатації та зберігання тільки в певних кліматичних районах - їх проводять на полігонах, розташованих в пунктах, що мають характерні кліматичні параметри зовнішнього середовища.

**Натурні випробування** - випробування РЕЗ в умовах, що відповідають умовам їх використання за прямим призначенням з безпосередньою оцінкою або контролем певних тактико-технічних характеристик РЕЗ.

Об'єктивність натурних випробувань може бути забезпечена при виконанні трьох основних умов:

- випробуванням піддають серійно виготовлені зразки виробів;
- випробування проводяться при впливі на вироби факторів діючих в реальних умовах експлуатації;
- визначаються тактико-технічні характеристики виробів вимірюються тільки безпосередньо, без застосування спеціальних додаткових експериментальних або аналітичних залежностей.

**Мета полігонних і натурних випробувань** - дослідження комплексного впливу реальних, природних кліматичних, механічних і інших факторів, що впливають на зміну параметрів РЕЗ та викликають їх оборотні та необоротні відмови при експлуатації, тривалій консервації і зберіганні. Ці випробування забезпечують отримання

повної і достовірної інформації про комплексний вплив факторів навколишнього середовища на параметри РЕЗ.

За результатами полігонних і натурних випробувань розробляються рекомендації щодо способів захисту РЕЗ від впливу зовнішніх факторів.

До фізичних випробувань слід віднести також **експлуатаційні випробування**, тобто випробування об'єкта, що проводяться безпосередньо в умовах експлуатації. Одним з основних видів експлуатаційних випробувань є дослідна експлуатація РЕЗ. Іноді проводиться підконтрольна експлуатація, яка умовно може бути віднесена до експлуатаційних випробувань.

**Випробування з використанням моделей** здійснюються методами фізичного і математичного моделювання. Застосування цих методів дозволяє відмовитися від ряду складних фізичних випробувань зразків реальних РЕЗ або їх макетів.

### 3.2.3 Класифікація випробувань РЕЗ за програмними цілями і призначенням

За програмними цілями і призначенням випробування класифікуються на:

- дослідні;
- контрольні;
- порівняльні;
- визначальні.

**Дослідні випробування** проводяться для вивчення певних характеристик або властивостей РЕЗ. В ході випробувань проводиться:

- визначення або оцінка показників якості функціонування зразків РЕЗ або їх найкращих характеристик і властивостей;
- вибір найкращих (оптимальних) режимів роботи РЕЗ або найкращих тактико-технічних характеристик РЕЗ;
- порівняння варіантів реалізації об'єкта при проектуванні і атестації;
- побудова математичної моделі функціонування РЕЗ;
- аналіз істотних чинників, що впливають на показники якості функціонування РЕЗ;

- вибір виду математичної моделі РЕЗ (при необхідності).

Особливістю дослідних випробувань є факультативний характер їх проведення.

**Контрольні випробування** проводяться для контролю якості РЕЗ. Випробування цього виду становлять найбільш численну групу випробувань.

**Порівняльні випробування** проводять для порівняння характеристик аналогічних або однакових РЕЗ. На практиці часто виникає необхідність порівняти якість аналогів і прототипів або навіть однакових моделей РЕЗ, що випускаються різними підприємствами, за тактико-технічними характеристиками. Для цього випробують порівнювані об'єкти в однакових режимах і умовах.

**Визначальні випробування** проводять для визначення значень характеристик РЕЗ із заданими показниками точності, достовірності та надійності.

### **3.2.4 Класифікація випробувань РЕЗ за місцем випробувань**

За місцем випробувань в комплексному процесі проектування випробування можуть бути поділені на:

- доводочні;
- попередні;
- приймальні.

**Доводочні випробування** - дослідні випробування, що проводяться при доопрацюванні (доведенні) дослідного зразка виробу з метою оцінки впливу внесених в документацію (конструкторську і технологічну) змін для досягнення заданих тактико-технічних параметрів.

**Попередні випробування** - контрольні випробування дослідних зразків або настановних партій виробів з метою визначення можливості прояву відхилень їх параметрів або виникнення дефектів в процесі серійного виробництва.

**Приймальні випробування** - контрольні випробування дослідних зразків, настановних партій виробів або виробів одиничного виробництва, що проводяться з метою вирішення питання

про доцільність впровадження цих виробів у виробництво і використання за призначенням.

### **3.2.5 Класифікація випробувань РЕЗ за місцем і функціями в серійному виробництві**

За місцем і функціями в серійному виробництві випробування можуть бути класифіковані на:

- кваліфікаційні;
- представницькі;
- приймально-здавальні;
- періодичні;
- інспекційні;
- типові;
- атестаційні;
- сертифікаційні.

**Кваліфікаційні випробування** - контрольні випробування настановної партії або першої серійної партії, що проводяться з метою оцінки готовності підприємства до випуску виробу даного типу в заданому обсязі.

**Пред'явницькі випробування** - контрольні випробування продукції, що проводиться службою управління якістю або ВТК підприємства-виготівника перед пред'явленням її для приймання представником замовника, споживача або інших органів приймання.

**Приймально-здавальні випробування** - контрольні випробування виробу під час приймального контролю.

**Періодичні випробування** - контрольні випробування виробів, що проводяться в обсягах та в терміни, встановлені нормативно-технічною документацією, з метою контролю стабільності якості виробів і оцінки можливості продовження їх серійного випуску.

**Інспекційні випробування** - контрольні випробування виробів, що проводяться з метою оцінки ефективності та доцільності внесених змін в конструкцію РЕЗ або технологію виробництва.

У тих випадках, коли в виробничому процесі виявляють недоліки конструкції РЕЗ або технологічних процесів їх виготовлення, виникає необхідність вдосконалення конструкції і технологічних

процесів: доцільність запропонованих змін виявляють за допомогою типових випробувань.

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

**Атестаційні випробування** - випробування, що проводяться для оцінки рівня якості виробів при їх підготовці до атестації за критеріями якості.

**Сертифікаційні випробування** - контрольні випробування виробів, що проводяться з метою встановлення відповідності їх тактико-технічних характеристик національним або міжнародним нормативно-технічних документів.

### **3.2.6 Класифікація випробувань РЕЗ за тривалістю проведення**

За тривалістю проведення випробування поділяються на:

- нормальні;
- прискорені;
- скорочені.

**Нормальні випробування** - випробування, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідного обсягу інформації про характеристики виробу в такий же інтервал часу, як й в умовах експлуатації, передбачених технічними умовами.

Прискорені випробування - випробування, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідної інформації про характеристики виробу в більш короткий термін, ніж це визначено ТУ.

**Скорочені випробування** - випробування, що проводяться за скороченою програмою, за рішенням керівництва служби управління якістю підприємства.

### **3.2.7 Класифікація випробувань РЕЗ за цільовим результатом впливу випробувань на стан виробу**

За цільовим результатом впливу випробувань на стан виробу випробування поділяються на:

- неруйнівні випробування;
- руйнівні випробування;
- випробування на міцність;
- випробування на стійкість.

**Неруйнівні випробування** - випробування із застосуванням неруйнівних методів контролю.

**Руйнівні випробування** - випробування із застосуванням руйнівних методів контролю

**Випробування на міцність** - випробування, що проводяться для визначення значень впливаючих факторів, що викликають критичний вихід значень параметрів виробу за межі, встановлені ТУ, або його руйнування.

**Випробування на стійкість** - випробування, що проводяться для контролю здатності виробу виконувати свої функції і зберігати значення параметрів в межах, встановлених ТУ під час дії на нього певних факторів.

### **3.2.8 Класифікація випробувань РЕЗ за характером укрупненого визначення параметрів**

За характером укрупненого визначення параметрів РЕЗ випробування підрозділяються на:

- функціональні (параметричні) випробування;
- випробування на надійність;
- випробування на транспортабельність;
- граничні випробування;
- технологічні випробування.

**Функціональні (параметричні) випробування** - випробування, що проводяться з метою визначення значень показників призначення РЕЗ

**Випробування на надійність** можуть бути визначальними і контрольними.

**Визначальні випробування на надійність** проводять для визначення статистичним шляхом фактичних значень кількісних показників надійності для одного типу або серії РЕЗ. Такі випробування проводять після освоєння знову розроблених або модернізованих РЕЗ, які виготовлені за технологією, що відповідає

передбаченому виду (серійному або масовому) виробництва. При визначальних випробуваннях проводиться також перевірка закону розподілу відмов для даного типу РЕЗ.

**Контрольні випробування на надійність** необхідні для контролю відповідності кількісних показників надійності вимогам стандартів або технічними умовами.

Оскільки в якості показників надійності РЕЗ прийняті ймовірність безвідмовної роботи, мінімальне напрацювання, ресурс, інтенсивність відмов і термін зберігання, то для визначення або контролю цих показників встановлено випробування на надійність наступних категорій: на безпеку, на довговічність, ресурсні, спеціальні, на збереженість.

**Випробування на транспортабельність** обумовлені вимогою, що пред'являються при перевезенні РЕЗ різними видами транспорту.

**Граничні випробування** проводяться для визначення залежності між гранично допустимими значеннями параметрів об'єкта і режимом експлуатації. Вони є експериментальним методом, заснованим на фізичному моделюванні області значень первинних параметрів, при яких вихідні параметри РЕЗ знаходяться в межах допуску, тобто в області безвідмовної роботи РЕЗ, і режими функціонування при одночасній зміні багатьох первинних параметрів встановити не представляється можливим. Тому часто на практиці знаходять граничні точки області безвідмовної роботи РЕЗ при зміні будь-якого одного первинного параметра (параметр фанічних випробувань), зберігаючи значення інших незмінними. В цьому і полягає сенс фанічних випробувань.

**Технологічні випробування** - випробування, що проводяться при виготовленні продукції з метою оцінки її технологічності.

### 3.3 Загальні принципи проведення випробувань РЕЗ

В даний час в лабораторних і стендових випробуваннях застосовуються 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.

Ці випробування, як правило, проводяться на різних вибірках.

Послідовність випробувань передбачає зазвичай першочергове виявлення найбільш грубих дефектів апаратури, таких як наявність коротких замикань і обривів при проведенні, наприклад, приймально-здавальних 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.

Як видно, послідовність проведення випробувань РЕЗ грає важливу роль.

Оптимальна послідовність проведення випробувань залежить від призначення РЕЗ, місця їх установки і передбачуваних умов експлуатації. Тому послідовність проведення випробувань для конкретного РЕЗ вказується в ТУ або програмі випробувань. У той же час рекомендується, наприклад, перед перевіркою герметичності і вологостійкості РЕЗ проводити механічні випробування, здатні викликати розгерметизацію апаратури.

У цьому сенсі усі кліматичні випробування доцільно проводити після механічних випробувань. Характерною особливістю послідовного способу проведення випробувань є наявність ефекту накопичення деградаційних змін фізичної структури об'єкта випробувань при переході від одного виду зовнішнього фактора до

іншого, в результаті чого кожний вплив попереднього фактора впливає на результати випробувань при впливі подальшого, що, в свою чергу, ускладнює інтерпретацію результатів випробувань і збільшує знос РЕЗ.

**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 зносі 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.

В даному випадку всі види випробувань повинні бути розбиті також 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. Одним із прикладів можливої розбивки видів випробувань на групи і послідовність їх проведення в кожній групі наведені в таблиці 3.1.

Однак кожен з розглянутих способів проведення випробувань передбачає, як правило, роздільний вплив на об'єкт зовнішніх факторів, що є істотною відмінністю від реальних умов його експлуатації.

Таблиця 3.1 - Приклад групування різних видів випробувань при послідовно-паралельному способі їх проведення

Група	Види випробувань
1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вібростійкість</li> <li>2. Віброміцність при тривалому впливі</li> <li>3. Ударна міцність</li> <li>4. Ударна стійкість</li> <li>5. Стійкість до впливу відцентрового прискорення</li> <li>6. Вплив одиночних ударів з великим прискоренням</li> <li>7. Циклічний вплив температури</li> <li>8. Висотність</li> <li>9. Вплив сонячної радіації</li> </ol>
2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теплотривкість при тривалому впливі</li> <li>2. Вплив морського туману</li> </ol>
3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вологостійкість при тривалому впливі</li> <li>2. Холодостійкість</li> <li>3. Вплив інею і роси</li> </ol>
4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Грибостійкість</li> </ol>

З метою наближення лабораторних умов випробувань об'єкта до реальних умов його експлуатації, все більшого поширення починає отримувати **комбінований спосіб** випробувань, при якому на об'єкт випробування одночасно впливають кілька зовнішніх факторів. Так, для імітації умов вібрації об'єкта в космічному просторі використовують лабораторні випробування на вібрацію при одночасному впливі на об'єкт низької температури і вакууму.

У табл. 3.2 наведена рекомендована послідовність комбінованих кліматичних та механічних випробувань.

Таблиця 3.2 - Послідовність механічних і кліматичних комбінованих випробувань

Випробування	Пояснення
А. Холод В. Сухе тепло N. Швидка зміна температури	Кліматичне випробування може викликати механічні напруги, які можуть зробити зразок більш чутливим до подальших випробувань.
Е. Удар F. Вібрація	Випробування можуть викликати механічні напруги, що призводять до негайної відмови зразка або підвищення його чутливості до подальших дослідів.
М. Атмосферний тиск Db. Вологе тепло (12 + 12- часовий цикл) С. Вологе тепло (постійний режим) К. Корозія L. Пил і пісок	Застосування випробувань може виявити температурні і механічні напруги, які виникають в процесі попередніх випробувань. Застосування випробувань може посилити результат впливу температурних і механічних напружень, викликаних попередніми випробуваннями.
Проникнення твердих частинок. Проникнення води, (наприклад дощу)	Повинні використовуватися випробування по МЕК 529 до завершення роботи по випробуванню Д і по випробуванню К в МЕК 68-2.

Основним обмеженням широкого застосування лабораторних та стендових випробувань при комплексній дії зовнішніх факторів є відсутність необхідного обладнання, а також складність і дорожнеча їх проведення.

Слід зазначити, що функціональне різноманіття РЕЗ, що розроблюються та випускаються, не дозволяє дати однозначно рекомендації з вибору того чи іншого способу та порядку застосування зовнішніх факторів при лабораторних та стендових випробуваннях. Але можна сказати, що вибір алгоритму випробувань повинен проводитися виходячи з результатів впливів того чи іншого фактора на конкретний вид об'єкта випробувань і умов його подальшої експлуатації, щоб в процесі випробувань механізм відмов РЕЗ посилювався і усі потенційно ненадійні зразки були обов'язково виявлені.

### **3.4 Вибір об'єктів випробувань**

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. Вироби необхідно випробувати в тому вигляді та стані, в якому вони реально експлуатуються. Якщо складові частини виробу при монтажі, 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 повинен бути врахований вплив (тепловий, механічний) 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 вибіркового контролю, окремий зразок або партія, від якої береться обумовлена НТД вибірка (проба).

Якщо об'єктом випробувань є макет або модель виробу, то результати випробувань відносяться безпосередньо до макету або моделі. Однак, якщо при випробуванні якого-небудь виробу деякі його елементи заміняють моделями або окремі характеристики виробу визначають на моделях, 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 здорожує випробування на надійність.

## **4 МЕТОДИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ НА МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ**

### **4.1 Загальна структура і методичні принципи проведення випробувань**

Механічні випробування РЕЗ дозволяють виявити наявність дефектів, визначити динамічні характеристики РЕЗ, провести оцінку впливу конструктивних дефектів на параметри якості РЕЗ, перевірити відповідність параметрів РЕЗ при механічному впливі вимогам ТУ. При цьому застосовуються такі види механічних випробувань:

- на наявність і відсутність резонансних частот;
- на вібростійкість;
- на віброміцність;
- на ударну стійкість;
- на вплив одиночних ударів;
- на лінійні відцентрові навантаження і акустичні шуми.

Дослідження різних видів механічних випробувань показали, що поєднання вібраційних навантажень і одиночних ударів надають на РЕЗ найбільший вплив, а інші види механічних впливів є додатковими.

Число видів механічних випробувань і їх послідовність залежать від призначення РЕЗ, умов експлуатації, типу виробництва. Наприклад, в програму визначальних випробувань дослідного зразка і зразків установчої серії необхідно включати всі види механічних випробувань, а для зразків, що виготовляються в серійному виробництві - тільки випробування, передбачені в стандартах і ТУ на вироби.

Під час механічних випробувань слід визначати різницю між частотами механічних впливів. Для цього використовується поняття октави.

**Октава - різниця між частотами у логарифмічному масштабі.**

Кількість октав між двома частотами можна визначити за формулою:

$$N = \frac{\lg \frac{f_B}{f_H}}{\lg 2}$$

де: N - кількість октав між двома частотами;  
 $f_B$  та  $f_H$  - відповідно верхня та нижня частота.

#### **4.1.1 Загальна структура методики механічних випробувань**

Рекомендується наступна структура методики механічних випробувань.

**4.1.1.1 Підготовка виробів РЕЗ до випробування.** Вона зводиться до вивчення технічної документації, зовнішнього огляду, вимірювання електричних параметрів відповідно до вказівки стандартів і ТУ на РЕЗ.

**Вивчення технічної документації.** При підготовці до проведення випробувань слід ознайомитися з наступною документацією:

- програмою випробувань (ПВ);
- ТУ або стандартами на вироби;
- інструкцією по проведенню випробувань;
- інструкцією по експлуатації випробувального устаткування;
- інструкцією по забезпеченню техніки безпеки.

**4.1.1.2 Зовнішній огляд виробів.** При проведенні зовнішнього огляду до персоналу ставляться такі вимоги:

- гострота зору - в межах від 1 до 0,8 для обох очей;
- кольоровідчуття - нормальне.

Освітленість робочого місця при проведенні зовнішнього огляду повинна бути 50-100 лк.

Зовнішній огляд виробів проводять або неозброєним оком (візуально), або із застосуванням оптичних засобів (мікроскоп і т.д.) відповідно до вказівки стандартів і ТУ на вироби.

В процесі огляду особлива увага повинна бути приділена таким місцям конструкції виробів, в яких виникають найбільші напруги і деформації. До таких місць в першу чергу відносяться:

- кріплення деталей виробу до опорних підстав (висновки, кріпильні лапи, стійки, кронштейни тощо);
- нарізні сполучення;
- паяні, зварні, клеєзварні і клейові з'єднання;
- герметичні з'єднання і місця герметизації;
- кріплення пружин, пластин та інших пружних деталей, місця закладення висновків і т.п.

Вимоги до зовнішнього вигляду виробів і допустимі відхилення встановлюють в стандартах або ТУ на вироби.

Вимірювання електричних параметрів виробів.

Вимірювання електричних параметрів і перелік перевірених параметрів виробів і допустимих відхилень їх від норм, встановлюють в стандартах і ТУ на вироби.

При проведенні випробувань послідовно на кілька видів впливів без зняття виробу з пристосування, для кріплення виробів можуть бути проведені додаткові вимірювання параметрів після установки виробу на пристосування.

**4.1.1.3 Вибір випробувальної установки.** Його проводять на підставі порівняння параметрів випробувального режиму (амплітуди, прискорення і переміщення, діапазону частот вібрації, прискорення), а також маси виробу, що випробовується і кріпильного пристосування з технічними даними вібраційних установок, наявних.

**4.1.1.4 Вибір методу випробувань.** Норми і методи випробувань встановлюються стандартами та технічними умовами на виріб відповідно до ГОСТ 20.57.406-81.

**4.1.1.5 Вибір засобів вимірювання параметрів.** Вимірювання параметрів проводять за допомогою засобів вимірювання, які входять в комплект обладнання. Діапазон вимірювання параметрів повинен відповідати вимогам технічної документації на вимірювальні прилади.

**4.1.1.6 Вибір контрольної точки** проводять в залежності від масогабаритних характеристик виробу, що випробовується, кількості одночасно встановлюваних на столі вібростенда кріпильних пристосувань і можливості закріплення на них ВІП. Контрольна точка може бути обрана:

- на кріпильному пристосуванні;
- на робочому столі вібростенда;
- на випробувальному виробі;
- прийнята умовною.

**4.1.1.7 Вибір пристосування для кріплення виробів і способів кріплення.** Загальні вимоги, методи проектування, конструювання та перевірки пристосувань для кріплення малогабаритних виробів (маса виробів у вибірці не більше 0,1 кг) викладені в додатку 6 ГОСТ 16962-71. Кріплення виробів на пристосуванні і пристосування до столу вібростенда проводять відповідно до вказівок ГОСТ 16962-71.

#### **4.1.2 Вимоги до обладнання для механічних випробувань**

Вібраційна установка і віброзамірювальна апаратура повинні бути перевірені на відповідність вимогам технічної документації, про що повинен бути зроблений відповідний запис у формулярі або іншому документі, прийнятому на підприємстві.

В процесі експлуатації повинні проводитися регулярні перевірки вібраційної установки. Ці перевірки бувають двох видів:

- перевірка перед початком нового випробування;
- перевірка після перерв у роботі установки при продовженні раніше початих випробувань (щоденна перевірка).

Перевірка вібраційної установки перед початком нових випробувань включає в себе:

- перевірку справності вібровимірювальної апаратури;
- перевірку справності вібраційної установки;
- перевірку вібраційної установки з встановленим виробом.

Випробувальний режим встановлюють за допомогою органів управління вібраційного установкою. Послідовність операцій по установці випробувального режиму визначається інструкцією по експлуатації вібраційного установкою.

#### **4.1.3 Проведення випробувань**

Виріб повинен піддаватися вібрації по черзі в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Якщо виріб має хоча б одну вісь

симетрії, рекомендується проводити випробування в двох напрямках (вздовж і перпендикулярно осі симетрії). Якщо конструкція виробу така, що переважний вплив на нього матиме вібрація в одному напрямку, рекомендується проводити випробування виробів тільки в цьому напрямку.

Контроль режимів випробування проводять за показаннями вимірювальних приладів, які відносяться до складу вібровимірювальної апаратури.

Після закінчення випробувань проводять зовнішній огляд, вимірювання параметрів виробів відповідно до вимог стандартів і ТУ

За результатами випробувань оформляють протокол встановленої форми.

## **4.2 Випробування на механічний резонанс**

### **4.2.1 Випробування на визначення резонансних частот конструкції**

Випробування 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.

Значення резонансних частот конструкції, виявлені в процесі досліджень, повинні бути вказані в стандартах і ТУ на виріб.

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 виріб та в Програмі випробувань (ПВ) для даного виду випробувань. 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.

Пошук резонансних частот проводять шляхом плавної зміни частоти при підтримці постійної амплітуди прискорення.

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

Амплітуду прискорення рекомендується вибирати з діапазону  $10...50 \text{ м/с}^2$  (1...5) g. На етапах конструювання  $f_r$  розраховують і потім її значення перевіряють на вібростенді.

#### **4.2.2 Випробування на наявність резонансних частот конструкції в заданому діапазоні частот**

Випробування проводять з метою перевірки відсутності резонансних частот у виробів і їх деталей в одному з діапазонів частот, встановлених в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Режими випробувань на наявність резонансних частот

Верхня частота діапазону частот, Гц	Ступені жорсткості
25	I
40	II
100	III

Випробування проводять в діапазоні частот від 10 Гц до  $1,1 f_v$ , де  $f_v$  - верхня частота діапазону, встановленого в таблиці 4.1, якщо інший діапазон не вказаний в стандартах і ТУ на вироби і ПВ.

Випробування проводять у трьох взаємно перпендикулярних напрямках по відношенню до виробу, якщо інші вказівки по вибору напрямків не вказані в стандартах і ТУ на вироби і ПВ.

При проведенні випробувань перевіряють на наявність резонансів всі основні деталі виробу, у яких можливі резонанси в діапазоні частот, що перевіряється. Особливу увагу приділяють деталям, що визначають структуру виробу і його функціональне призначення.

Пошук резонансів проводять шляхом плавної зміни частоти при підтриманні постійної амплітуди переміщення в контрольній точці нижче частоти переходу і постійної амплітуди прискорення вище частоти переходу для відповідного ступеня жорсткості (табл. 4.1).

Амплітуда прискорення повинна бути мінімально можливою, але достатньою для виявлення резонансу і такою, що не перевищує амплітуду прискорення при випробуванні на вібростійкість і віброміцність.

Амплітуду переміщення рекомендується вибирати з діапазону 0,5...1,5 мм, амплітуду прискорення - 10...0 м (1...5) г, при цьому частоту переходу  $f_p$  в Гц визначають за формулою:

$$f_p = \sqrt{\frac{250 \cdot j}{A}}$$

де  $j$  - амплітуда прискорення, г;

$A$  - амплітуда переміщення, мм.

Конкретне значення амплітуди переміщення і прискорення вказують в стандартах і ТУ на виробу і ПВ.

Швидкість зміни частоти повинна бути такою, щоб забезпечити можливість виявлення і реєстрації резонансів, і не перевищувати 1 октаву в хвилину.

Вироби вважають такими, що витримали випробування, якщо у них відсутні резонанси в діапазоні частот, зазначеному в стандартах і ТУ на виробу і ПВ.

### 4.3 Випробування на вібростійкість

Випробування на вібростійкість проводять з метою перевірки здатності виробів виконувати свої функції і зберігати свої параметри в

межах значень, вказаних в стандартах і ТУ на вироби в умовах впливу вібрації.

Випробування проводять одним з наступних методів:

- метод 1 - випробування на вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації;
- метод 2 - випробування на вібростійкість при впливі широкосмугового випадкової вібрації.

Випробування за методом 2 проводять для виробів, що мають в заданому діапазоні частот не менше 4 резонансів, якщо до виробів пред'явлена вимога щодо стійкості до впливу випадкової вібрації.

### **4.3.1 Випробування на вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації**

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці синусоїдальної вібрації з параметрами, встановленими для необхідного ступеня жорсткості.

Випробування проводять під електричним навантаженням характер, параметри і метод контролю якого повинні бути встановлені в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ, шляхом плавної зміни частоти в заданому діапазоні від нижчої до вищої і назад. Для виробів з лінійними резонансними характеристиками випробування проводять шляхом зміни частоти в одному напрямку.

Швидкість зміни частоти встановлюється рівною 1...2 октавам в хвилину. Якщо для контролю параметрів виробу потрібно більше часу ніж той, що забезпечується при даній швидкості розгортки частоти, то допускається встановлювати швидкість зміни частоти менше 1 октави в хвилину.

При цьому швидкість зміни частоти повинна бути максимальною, але достатньою для забезпечення контролю необхідних параметрів.

В діапазоні частот нижче частоти переходу підтримують постійну амплітуду переміщення, а вище частоти переходу - постійну амплітуду прискорення.

Режими випробувань - діапазон частот, амплітуда переміщення, частота переходу і амплітуда прискорення - наведені в таблиці 4.2.

У процесі випробування проводять контроль параметрів виробів. Значення параметрів і метод перевірки вказують в стандартах і ТУ на виріб і в ПВ.

Для перевірки вібростійкості рекомендується вибирати параметри, по зміні яких можна судити про вібростійкість виробу в цілому (наприклад, рівень віброшумів, спотворення вихідного сигналу або зміна його величини, цілісність електричної мережі, нестабільність контактного опору і т.ін.).

При виявленні у виробів частот, на яких спостерігається нестабільність роботи або погіршення параметрів, додатково проводять витримку на цих частотах протягом часу, зазначеного в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ, але не менше 5 хв.

Таблиця 4.2 - Режими випробувань на вібростійкість при впливі синусоїдальної вібрації

Ступінь жорсткості	Діапазон частот, Гц	Амплітуда переміщення, мм	Частота переходу, Гц	Амплітуда прискорення, $m/c^2$ (g)
I	10-35	-	-	5(0.5)
II	10-55	-	-	10(1.0)
III	10-55	0.5	32	20(2.0)
IV	10-55	0.5	-	-
V	10-80	0.5	32	20(2.0)
VI	10-80	0.5	50	50(5.0)
VII	10-100	0.5	50	50(5.0)
VIII	10-200	0.5	50	50(5.0)
IX	10-500	0.5	50	50(5.0)
X	10-500	1.0	50	100(10.0)
XI	10-2000	1.0	50	100(10.0)
XII	10-2000	2.0	50	200(20.0)
XIII	10-2000	4.0	50	400(40.0)
XIV	10-5000	4.0	50	400(40.0)

Випробування проводять при впливі вібрації в трьох взаємно перпендикулярних напрямках по відношенню до виробу, якщо інші умови не вказані в стандартах і ТУ на виріб і в ПВ,

В кінці випробувань проводять візуальний огляд виробів і вимірювання їх параметрів.

#### **4.3.2 Випробування на вібростійкість при впливі широкосмугового випадкової вібрації**

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці широкосмугової випадкової вібрації з параметрами, встановленими для необхідного ступеня жорсткості.

Випробування проводять шляхом впливу широкополосної випадкової вібрації в режимах, зазначених у таблиці 4.3.

Тривалість впливу вібрації в кожному напрямку впливу визначається часом перевірки працездатності виробу.

Параметри, що перевіряються, їх значення і методи перевірки вказують в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Таблиця 4.3 - Режими випробувань на вібростійкість при впливі широкосмугового випадкової вібрації

Ступінь жорсткості	Діапазон частот, Гц	Середнє квадратичне значення прискорення, $\text{m/s}^2$ (g)	Спектральна щільність прискорення, $\text{g}^2/\text{Гц}$
I	20-2000	100(10)	0,05
II	20-2000	200(20)	0,20
III	20-5000	300(30)	0,20
IV	20-5000	500(50)	0,50

#### **4.4 Випробування на віброміцність**

Випробування проводять з метою перевірки здатності виробу протистояти руйнівній дії вібрації і зберігати свої параметри в межах значень, вказаних в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ після її впливу.

Випробування проводять одним з наступних методів (вибір методу визначається в залежності від значення резонансних частот конструкції).

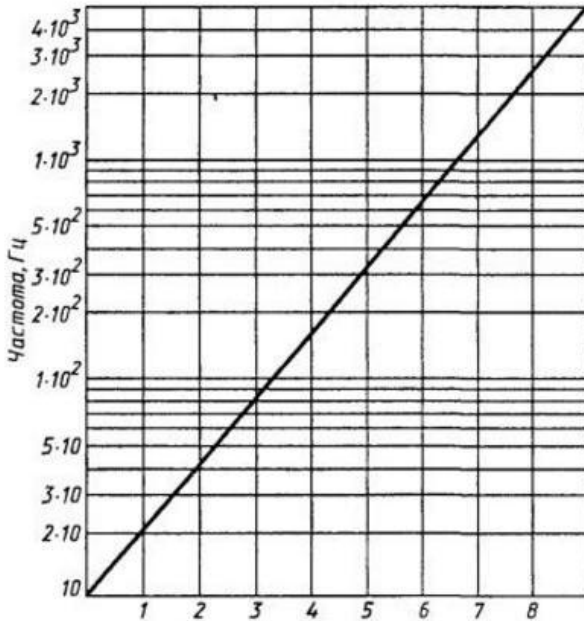
#### 4.4.1 Випробування методом частоти, що хитається

Він включає до складу декілька варіантів.

##### 4.4.1.1 Метод 1а - випробування методом частоти, що хитається, у всьому діапазоні частот.

Даний метод застосовують для виробів, у яких резонансні частоти розподілені у всьому діапазоні частот випробувань або не встановлені.

Випробування проводять шляхом впливу синусоїдальної вібрації при безперервній зміні частоти у всьому діапазоні частот від нижнього значення до верхнього і назад (цикл гойдання) за графіком, наведеним на рис. 4.1.



*Тривалість половини циклу хитання, хв.*

Рисунок 4.1 - Залежність тривалості половини циклу коливання від частоти

Час зміни частоти в діапазоні визначають за рис. 4.1, округляючи його до найближчих значень, що забезпечуються системою управління вібраційного установкою.

В діапазоні частот від 10 Гц до частоти переходу підтримують постійну амплітуду переміщення, а починаючи з цієї частоти до верхньої частоти заданого діапазону, підтримують постійну амплітуду прискорення, відповідну заданій ступеня жорсткості.

Діапазон частот вібрації, амплітуду переміщення, частоту переходу, амплітуду прискорення, розрахункове число циклу хитання частоти, розрахункове число циклів коливання і загальну тривалість впливу вібрації вибирають з таблиці 4.4. Тривалість випробування визначається загальним часом впливу або розрахунковим числом циклів коливання частоти.

Таблиця 4.4 - Режими випробувань на віброміцність методом частоти, що хитається

Ступінь жорсткості	Діапазон частот, Гц	Амплітуда переміщення, мм	Частота переходу, Гц	Амплітуда прискорення, $m/c^2$ (g)	Розрахунковий час циклу, хв.
I	10-35	0,5	28	15 (1,5)	4
III	10-55	0,5	50	50 (5)	5
IV	10-55	1,0	45	80 (8)	5
VI	10-80	0,5	50 (5)	50 (5)	6
VIII	10-100	-	-	5 (0,5)	7
X	10-100	0,5	28	15 (1,5)	7
XI, XII	10-100	0,5	39	30 (3)	7
XIII	10-100	1,5	50	150 (15)	7
XIV	10-200	0,5	32	20 (2)	8
XVIII-XX	10-500	0,5	32	20 (2)	12
XXII	10-500	1,0	50	100 (10)	12

**4.4.1.2 Метод 1б - випробування методом частоти, що хитається,** при підвищених значеннях амплітуди прискорення.

Випробування даним методом проводять у всіх випадках, коли є необхідність скорочення часу випробувань. Рекомендується застосовувати цей метод для випробування мініатюрних виробів для ступенів жорсткості XIII, XIV.

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці синусоїдальної вібрації з параметрами, встановленими для заданого ступеня жорсткості з урахуванням вібраційного значення амплітуди прискорення.

Випробування проводять аналогічно методу 1а, але при амплітудах переміщення і прискорення, що перевищують зазначені в табл. 4.4 і скороченій тривалості впливу вібрації. Число циклів коливання також зменшують відповідно скорочення тривалості впливу вібрації.

Тривалість впливу вібрації  $T_y$  для вібраційного значення амплітуди прискорення  $j_y$  розраховують за формулою:

$$T_y = \left( \frac{j_o}{j_y} \right)^2$$

де  $j_o$ ,  $T_o$  – відповідно, амплітуда прискорення і тривалість впливу вібрації, наведені в табл. 4.4.

Рекомендується приймати  $\frac{j_o}{j_y} = (0,4 \dots 0,7)$

При скороченні тривалості впливу вібрації шляхом збільшення амплітуди прискорення слід враховувати діапазон лінійності характеристики міцності виробу, тобто при підвищеному рівні амплітуди прискорення неприпустимий прояв якісно нових механізмів відмов, які не мають місця при рівні амплітуди прискорення, наведеному в табл. 4.4.

У стандартах і ТУ на виріб повинно бути вказано, що випробування проводять в прискореному режимі.

В діапазоні частот від 10 Гц до частоти переходу амплітуду переміщення збільшують у стільки ж разів, що і амплітуду

прискорення (в межах можливості випробувального устаткування) в порівнянні з амплітудами переміщення, зазначеними в таблиці 4.4.

**4.4.1.3 Метод 1в - випробування методом частоти, що хитається,** виключаючи діапазон частот нижче 100 Гц. Даний метод застосовують, якщо нижча резонансна частота виробу перевищує 200 Гц.

Випробуванням на віброміцність піддають ті ж зразки виробів, які були випробувані на вібростійкість, якщо останній вид випробування передбачений в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці синусоїдальної вібрації з амплітудою прискорення, що відповідає заданому ступеню жорсткості в діапазоні частот від 100 Гц до верхньої частоти, встановленої для заданого ступеня жорсткості.

Випробування проводять шляхом впливу синусоїдальної вібрації при безперервній зміні частоти в одному з діапазоні частот, наведених в табл. 4.5, від нижнього значення до верхнього і назад (цикл гойдання) і підтримки постійної амплітуди прискорення.

Час зміни частоти визначають за рис. 4.1, округляючи його до найближчих значень, що забезпечуються системою управління вібраційного установкою.

Амплітуду прискорення вибирають з таблиці 4.4, а тривалість впливу вібрації, розрахунковий час циклу гойдання і розрахункову кількість циклів коливання вибирають з таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Режими випробувань на віброміцність

Ступінь жорсткості	Діапазон частот, Гц	Тривалість впливу вібрації, год.	Розрахунковий час циклу гойдання, хв.	Розрахункова кількість циклів гойдання
IX-X	100-500	20	5	240
XI-XII	100-2000	15	9	100
XIII, XIV	100-2000	15	9	100

**4.4.1.4 Метод 1г - випробування методом частоти, що хитається,** в області резонансних частот.

Даний метод застосовують для виробів, у яких резонансні частоти знаходяться в діапазоні частот, відповідному необхідному ступеню жорсткості.

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці синусоїдальної вібрації з амплітудою прискорення, що відповідає заданому ступеню жорсткості в області резонансних частот виробу.

Випробування проводять в діапазоні частот від  $0,5f_o$  до  $1,5f_o$ , якщо виріб має одну резонансну частоту, або від  $0,5f_{он}$  до  $1,5f_{ов}$ , якщо виріб має більше однієї резонансної частоти в заданому діапазоні частот, але вище верхньої частоти заданого діапазону,

де  $f_o$  - резонансна частота виробу,

$f_{он}$  - нижня резонансна частота виробу;

$f_{ов}$  - верхня резонансна частота.

Тривалість впливу вібрації  $T'$  для даного методу визначають за формулою:

$$T' = 2 t_p \frac{T}{t_H}$$

де  $t_p$  - час зміни частоти від  $0,5f_o$  до  $1,5f_o$ , або від  $0,5f_{он}$  до  $1,5f_{ов}$ , що визначається за рис. 4.1,

$T$ ,  $t_H$  - загальна тривалість впливу вібрації для методу 1а і розрахунковий час циклу гойдання відповідно, що визначаються за таблицею 4.4 для заданого ступеня жорсткості;

Отриманий час  $T'$  при необхідності округлюють до найближчого значення, кратного шести.

Розрахунковий час циклу гойдання зменшується відповідно до зміни діапазону частот випробувань.

**4.4.1.5 Метод 1д - випробування методом частоти, що хитається,** з перенесенням діапазону частот випробувань в область резонансних частот.

Даний метод застосовують для виробів, у яких нижча резонансна частота перевищує верхню частоту діапазону, відповідного заданої ступеня жорсткості.

Випробування встановлюють в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ і погоджують їх застосування з замовником.

**4.4.1.6 Метод 1e - випробування на одній фіксованій частоті.** Даний метод застосовують для виробів, у яких нижча резонансна частота більш ніж в 1,5 рази перевищує верхню частоту діапазону, відповідного необхідного ступеня жорсткості.

Вібраційна установка повинна забезпечувати отримання в контрольній точці синусоїдальної вібрації на заданій частоті з амплітудою прискорення відповідного ступеня жорсткості.

Випробування проводять шляхом впливу синусоїдальної вібрації на будь-якій фіксованій частоті діапазону при прискоренні, відповідному заданому ступеню жорсткості.

Конкретне значення частоти повинно вказуватися в стандартах і ТУ на виріб і в ПВ. Загальна тривалість впливу вібрації повинна визначатися таким числом коливань;

$0,5 \cdot 10^7$  коливань - для ступеня жорсткості I-VII;

$2 \cdot 10^7$  коливань - для ступеня жорсткості VIII-XII і для випробувань при амплітуді прискорення  $200 \text{ м/с}^2$  (20g) для ступеня жорсткості XIII-XIV;

$1 \cdot 10^6$  коливань - для ступенів жорсткості XII і XIV при амплітуді прискорення  $400 \text{ м/с}^2$  (40g) при кожному напрямку впливу.

Випробувальний режим встановлюють в контрольній точці за показаннями засобів вимірювання.

#### **4.4.2 Випробування методом фіксованих частот у всьому діапазоні**

Даний метод допускається застосовувати за погодженням із замовником, якщо неможливе застосування інших методів.

Випробування проводять шляхом впливу синусоїдальної вібрації при плавній зміні частоти в межах третьоктавних піддіапазонів частот з витримкою протягом встановленого часу на межах третьоктавних піддіапазонів.

Третьоктавні піддіапазони частот вибирають з наступного ряду частот: 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000 Гц.

Випробування проводять, починаючи з верхньої частоти діапазону частот відповідного ступеня жорсткості.

На верхній частоті діапазону частот випробувань проводять витримку, потім в межах кожного піддіапазону плавно змінюють частоту від верхньої до нижньої протягом 1 хв, і протягом часу, що залишився для третьоктавного піддіапазона частот, витримують на нижній частоті кожного піддіапазону.

Якщо верхня межа діапазону частот не збігається з однією з вищевказаних третьоктавних частот, то її округлюють до найближчої більшої частоти третьоктавного ряду.

Загальна тривалість впливу вібрації по всьому діапазону частот і загальна тривалість впливу вібрації в кожному третьоктавний піддіапазоні частот наведені в таблиці 4.6.

Значення амплітуди переміщення, амплітуди прискорення і діапазону частот випробувань вибирають для відповідного ступеня жорсткості з таблиці 4.4.

Таблиця 4.6 - Режими випробувань на віброміцність методом фіксованих частот у всьому діапазоні

Ступінь жорсткості	Загальна тривалість впливу вібрації по всьому діапазону частот, год		Загальна тривалість впливу вібрації в кожному третьоктавному піддіапазоні частот	
	тривалого	короткочасного	тривалого, год	короткочасного, хв
I	7	-	1.0	-
II-IV	9	1.5	1.0	10
V-VI	25	6	2.5	36
VII	26	6.5	2.0	30
VIII	28	7	2.0	30
IX-X	72	6	4.0	20
XI-XII	36	6	1.5	15

При проведенні випробування для виробів з власними амортизаторами слід уникати збігу частоти, на якій виробляють витримку, з резонансною частотою амортизатора.

#### **4.4.3 Випробування шляхом впливу ширококутового випадкової вібрації**

Цей метод застосовують для випробування виробів, що мають в заданому діапазоні частот не менше 4 резонансів, якщо до виробів пред'явлена вимога з міцності до впливу випадкової вібрації.

Конкретний метод випробувань вказується в стандартах і ТУ на виробу і в ПВ. Значення резонансних частот при виборі методу випробувань приймають на підставі вимірів на стадії розробки і за довідковими даними.

Випробування проводять шляхом впливу на виріб ширококутового випадкової вібрації в режимах, зазначених у таблиці 4.7.

При заміні випробування на ширококутовий випадкову вібрацію випробуванням на синусоїдальну вібрацію замість ступенів жорсткості I і II використовують ступені жорсткості XI і XII з табл. 4.4 відповідно, а замість ступенів жорсткості II ті IV використовують ступінь жорсткості XIV.

Таблиця 4.7 - Режими випробувань на віброміцність шляхом впливу ширококутового випадкової вібрації

Ступінь жорсткості випадкової вібрації	Діапазон частот, Гц	Середнє квадратичне значення прискорення, $m/c^2$ (g)	Спектральна щільність прискорення, $g^2/Гц$	Загальна тривалість впливу вібрації, год
Ic	20-2000	100(10)	0.05	3
IIc	20-2000	200(20)	0.20	3
IIIc	20-5000	300(30)	0.20	0.05
	20-2000	200(20)	0.20	3
IVc	20-5000	500(50)	0.50	0.05
	20-2000	200(20)	0.20	3

Якщо нижча резонансна частота виробу знаходиться вище 200 Гц, то випробування проводять, починаючи від 100 Гц.

## 4.5 Випробування на ударну міцність і стійкість

### 4.5.1 Випробування на ударну міцність

Зазвичай ударні навантаження виникають спільно з іншими видами механічних навантажень і відрізняються від них імпульсним характером і короткочасністю дії.

Мета випробувань на ударні навантаження:

• перевірка здатності виробів протистояти руйнівній дії ударних навантажень і, якщо необхідно, виконувати свої функції в процесі впливу ударів і після їх впливу;

• оцінка конструктивної міцності виробів;

• демонстрація можливості застосування виробів в умовах впливу ударних навантажень.

Таким чином, випробування проводять з метою перевірки здатності виробу протистояти руйнівній дії механічних ударів багаторазової дії та зберігати після їх дії свої параметри в межах значень, вказаних в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Випробувальна установка повинна забезпечувати отримання механічних ударів багаторазової дії з амплітудою прискорення, відповідною заданому ступеню жорсткості.

Випробування проводять шляхом впливу механічних ударів багаторазової дії. Значення пікового ударного прискорення і загальне число ударів повинні відповідати зазначеним у таблиці 4.8.

Тривалість дії ударного прискорення вибирають з таблиці 4.9 в залежності від значення нижчої резонансної частоти виробу.

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

$$t_i \geq \frac{300}{f_{он}}$$

де:  $t$  - тривалість ударного прискорення, мс;

$f_{он}$  - нижча резонансна частота виробу, Гц.

Таблиця 4.8 - Режими випробувань на ударну міцність і стійкість

Ступінь жорсткості	Пікове ударне прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)	Загальна кількість ударів для передбаченої в стандартах і ТУ на виробі вибірки	
		3 шт. и менше	більше 3 шт.
I	150(15)	12000	10000
II	400(40)	12000	10000
III	750(75)	6000	4000
IV	1500(150)	6000	4000

Таблиця 4.9 - Тривалість дії ударного прискорення при випробуваннях на ударну міцність і стійкість

Значення нижчої резонансної частоти виробу, Гц	Тривалість дії ударного прискорення, мс
60* і нижче	18±5
60-100	11±4
100-200	6+2
200-500	3+1
500-1000	2±0,5
Понад 1000	1±0,3

Якщо виробу мають входні до їх конструкції вбудовані елементи захисту (наприклад амортизатори), то при виборі тривалості дії ударного прискорення враховують нижчу резонансну частоту самого виробу, а не елементів захисту.

Якщо резонансні частоти виробів не встановлені, то тривалість дії ударного прискорення вказують в стандартах і ТУ на виробу і в ПВ.

Форма імпульсу ударного прискорення повинна бути близькою до напівсінусоїди.

Випробування проводять при частоті проходження 40...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.

#### **4.5.2 Випробування на ударну стійкість**

Випробування проводять з метою перевірки здатності виробів виконувати свої функції в умовах дії механічних ударів багаторазової дії.

Випробування проводять під електричним навантаженням, характер, параметри і метод контролю якого встановлюються в стандартах і ТУ на виріб і в ПВ.

Випробування проводять шляхом впливу ударів по черзі в кожному з трьох взаємно перпендикулярних напрямках по відношенню до виробу.

Тривалість дії пружного прискорення вибирають з таблиці 4.9.

Виріб піддають впливу 20 ударів за кожним напрямком впливу, при цьому частота проходження ударів повинна забезпечувати можливість контролю параметрів виробу.

У процесі випробування проводять контроль параметрів виробів, значення і методи перевірки яких вказують в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Для перевірки ударної стійкості рекомендується вибирати параметри, за зміною яких можна судити про ударну стійкість виробу в цілому (наприклад, рівень віброшумів, спотворення вихідного сигналу або зміна його значення, цілісність електричної мережі, нестабільність контактної опору і т.д.).

При суміщенні випробування на ударну стійкість з випробуванням на ударну міцність кількість ударів повинна відповідати зазначеній в таблиці 4.8. Контроль параметрів виробів проводять в кінці випробування на ударну міцність при впливі не менше 20 ударів для кожного напрямку дії.

### 4.5.3 Випробування на вплив одиночних ударів

Випробування проводять з метою перевірки здатності виробів протистояти руйнівній дії механічних ударів одиночної дії і виконувати свої функції після впливу ударів, а також (якщо це зазначено в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ) виконувати свої функції або не допускати помилкових спрацьовувань в процесі впливу ударів.

Випробувальна установка повинна забезпечувати отримання механічних ударів одиночної дії з амплітудою прискорення, що відповідає заданому ступеню жорсткості.

Якщо в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ зазначено на необхідність контролю параметрів виробів в процесі випробування, то випробування проводять під електричним навантаженням.

Конкретну форму імпульсу ударного прискорення встановлюють в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ. Рекомендується напівсинусоїдальна форма імпульсу ударного прискорення.

Значення пікового ударного прискорення вибирають за таблицею 4.10.

Значення тривалості дії ударного прискорення з напівсинусоїдальною формою - імпульсу ударного прискорення - вибирають в залежності від нижніх резонансних частот виробів з таблиці 4.11 для ступенів жорсткості IV і вище, а для ступенів жорсткості I-III тривалість дії ударного прискорення вибирають з таблиці 4.9.

Таблиця 4.10 - Режимы випробувань на одиночний удар

Ступінь жорсткості	Пікове ударне прискорення, $m/c^2$ (g)	Ступінь жорсткості	Пікове ударне прискорення, $m/c^2$ (g)
I	200 (20)	VIII	30000 (3000)
II	1000 (100)	IX	50000 (5000)
III	1500 (150)	X	100000 (10000)
IV	2000 (200)	XI	200000 (20000)
V	5000 (500)	XII	500000 (50000)
VI	10000 (1000)	XIII	1000000
VII	15000 (1500)		

Таблиця 4.11 - Тривалість дії ударного прискорення при випробування на одиночний удар

Значення нижчих резонансних частот виробів, Гц	Тривалість дії ударного прискорення, мс
500 і вище	3±1
500-1000	2±0,5
1000-2000	1±0,3
1	2
2000-5000	0,5±0,2
5000-10000	0,2±0,1
10000-20000	0,1±0,05
20000 і вище	0,05±0,02

Вироби, нижня резонансна частота яких перевищує 2000 Гц, допускається випробувати при ударних прискорення 5000, 10000 і 15000 м/с<sup>2</sup> (500, 1000 і 1500 g) при тривалості дії ударного прискорення 1,5; 1 і 0,5 м/с<sup>2</sup> відповідно.

Електричні вироби з масою більше 2 кг допускаються випробовувати при прискоренні 10000 м/с<sup>2</sup> (1000 g). При цьому тривалість дії і форму імпульсу ударного прискорення не контролюють.

Якщо резонансні частоти виробів не встановлені, то тривалість дії ударного прискорення вказують в стандартах і ТУ на виріб і ПВ.

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

$$\tau = \frac{n_i \cdot 100}{f_{он}};$$

$$\tau = \frac{300}{f_{он}}$$

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

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

Отримані за цими формулами значення  $\tau$  округлюють (в будь-яку сторону) до найближчих значень за таблицями 4.9 та 4.11.

Випробування проводять шляхом впливу ударів по черзі в кожному з двох протилежних напрямків за трьома взаємно перпендикулярними осями виробу (6 напрямків), якщо у виробу неможливо виділити площині і осі симетрії. В інших випадках вибір конкретних напрямків впливу проводиться наступним чином:

- при наявності осі симетрії випробування проводять уздовж осі симетрії в двох протилежних напрямках і в будь-якому напрямку, перпендикулярному до осі симетрії;
- при наявності однієї або декількох площин симетрії напрямки впливу вибирають так, щоб перпендикулярно до кожної площині симетрії випробування проводилося в одному напрямку.

Вироби, у яких відомою одне найбільш небезпечний напрям впливу, випробують тільки в цьому напрямку.

Конкретне число напрямків впливу вказують в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Незалежно від кількості обраних напрямків впливу пікового ударного прискорення в кожному напрямку виконують три удари.

Параметри, що перевіряються, їх значення і методи перевірки вказують в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

## 4.6 Випробування на вплив лінійного прискорення

Випробування проводять з метою перевірки здатності виробів протистояти руйнівній дії лінійного прискорення і виконувати функції в процесі впливу лінійного прискорення, якщо це зазначено в стандартах і ТУ на вироби і ПВ, а також для перевірки структурної міцності виробу в процесі виробництва.

Центрифуга повинна забезпечувати отримання лінійного (доцентрового) прискорення, значення якого відповідає необхідному ступеню жорсткості.

Випробування проводять шляхом впливу лінійного прискорення, значення якого має відповідати одному із зазначених в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 - Режими випробувань на лінійне прискорення

Степінь жорсткості	Лінійне прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)	Степінь жорсткості	Лінійне прискорення, м/с <sup>2</sup> (g)
I	100(10)	VIII	20000(2000)
II	200(20)	IX	50000(5000)
III	500(50)	X	100000 (10000)
IV	1000(100)	XI	200000 (20000)
V	2000(200)	XII	300000 (30000)
VI	5000(500)	XIII	500000 (50000)
VII	10000(1000)	XIV	1000000 (100000)

Прискорення встановлюють за показниками засобів вимірювання з допустимим відхиленням  $\pm 10\%$  від заданого значення прискорення.

Час розгону або гальмування центрифуги  $\tau_{л}$  в секунду повинен задовольняти умовам:

$$\tau \geq 0,3 \cdot \sqrt{\frac{R}{j}};$$

або:

$$\tau \geq \frac{100}{n}$$

де  $j$  - лінійне прискорення, g;

$R$  - відстань від центру обертання центрифуги до контрольної точки, см;

$n$  - частота обертання платформи центрифуги, об / хв.

Тривалість випробування - 3 хв в кожному напрямку при випробуванні з прискоренням до 5000 м/с<sup>2</sup> (500 g), якщо більший час не потрібний для контролю і виміру параметрів виробів.

У процесі випробування, якщо вказано в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ, проводять контроль параметрів виробів, їх значення і методи перевірки вказують в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

## 4.7 Випробування на вплив акустичного шуму

Випробування проводять з метою визначення здатності виробів виконувати свої функції і зберігати свої параметри в межах норм, зазначених в стандартах і ТУ на вироби і ПВ, в умовах впливу підвищеного акустичного шуму.

Випробування проводять одним з наступних методів:

- метод 1 - випробування шляхом впливу на виріб випадкового акустичного шуму;
- метод 2 - випробування шляхом впливу на виріб акустичного тону мінливої частоти.

### 4.7.1 Випробування на вплив випадкового акустичного шуму

Випробувальна установка повинна забезпечувати отримання випадкового акустичного шуму в діапазоні частот 10000 Гц при рівні звукового тиску, відповідному необхідній ступеню жорсткості.

Випробування проводять у ревербераційній акустичній камері. Найкращою є камера у вигляді неправильного п'ятикутника з розмірами, зазначеними на рис. 4.2.

Значення розміру  $n$  повинне перевищувати найбільший габаритний розмір виробу не менше ніж в два рази і вибиратися з наступного ряду: 0,5; 1,25; 3 м.

Кріплення виробів або пристосувань з виробами проводять в робочій зоні камери на еластичних розтяжках (гумові шнури, смуги і т.п.).

Резонансна частота пристосування, якщо воно застосовується, повинна бути не нижче 15 кГц.

Великогабаритні вироби (найбільший габаритний розмір більше 300 мм) рекомендується встановлювати на рамі (столі) з опорою на 3-4 амортизатора, при цьому резонансна частота системи «виріб - амортизатори» не повинна перевищувати 25 Гц.

Малогабаритні вироби (найбільший габаритний розмір в закріпленому стані менше 40 мм) рекомендується кріпити на пристроях, при цьому нижча резонансна частота засобів кріплення виробів повинна бути не нижче 15 кГц і не вище 200 Гц.

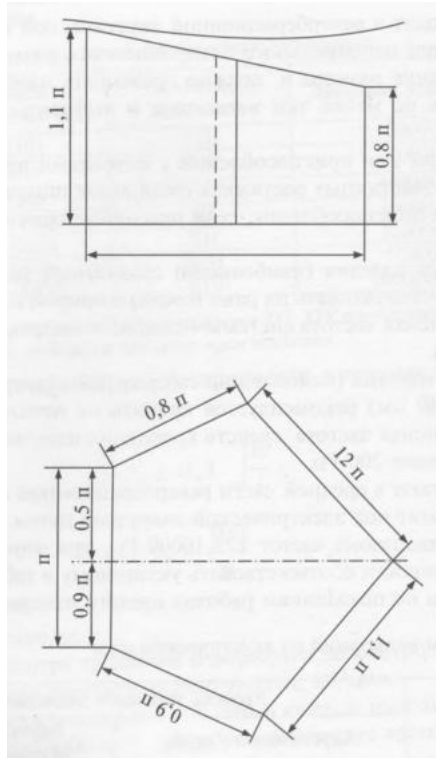


Рис.4.2 - Схема ревербераційної камери

Вироби встановлюють в середній частині ревербераційній камери.

Випробування проводять під електричним навантаженням шляхом впливу акустичного шуму в діапазоні частот 125...10000 Гц, при цьому рівень звукового тиску повинен відповідати зазначеному в таблиці 4.13 з допустимим відхиленням за показаннями робочих засобів вимірювань  $\pm 3$  дБ.

Рівні звукового тиску, виміряні в третьоктавних смугах частот, а також допустимі відхилення повинні відповідати вказаним у табл. 4.13 для відповідних ступенів жорсткості. Тривалість дії звукового тиску повинна дорівнювати 5 хв, якщо більший час не потрібен для контролю і виміру параметрів виробів.

Таблиця 4.13 - Режими випробувань на акустичний шум

Ступінь жорсткості	Рівень звукового тиску, дБ	
	Акустичного шуму	Акустичного тону частоти, яка змінюється
I	130	120
II	140	130
III	150	140
IV	160	150
V	170	160

У процесі випробування проводять контроль параметрів виробів, їх значення і методи перевірки вказуються в стандартах і ТУ на вироби і в ПВ.

Рекомендується вибирати такі параметри, за зміною яких можна судити про стійкість виробу до впливу акустичного шуму виробу в цілому (наприклад рівень віброшумів, спотворення вихідного сигналу або зміна його значення, цілісність електричної мережі, зміна контактного опору і т.ін.).

#### **4.7.2 Випробування на вплив акустичного тону мінливої частоти**

Випробувальна установка повинна забезпечувати отримання акустичного тону мінливої частоти в діапазоні частот 125...10000 Гц при рівні звукового тиску, відповідному необхідному ступеню жорсткості.

Випробування проводять під електричним навантаженням шляхом впливу тону мінливої частоти в діапазоні частот 200...1000 Гц. Рівень звукового тиску повинен відповідати зазначеному в таблиці 4.13 (на частотах нижче 200 і вище 1000 Гц повинно бути зниження, що дорівнює 6 дБ на октаву щодо рівня на частоті 1000 Гц).

Випробування проводять при плавній зміні частоти по всьому діапазону від нижчої до вищої і назад (один цикл) протягом 30 хв, якщо більший час не потрібен для контролю параметрів виробів.

В процесі випробувань проводять контроль параметрів виробів.

## **5 МЕТОДИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ НА КЛІМАТИЧНІ ВПЛИВИ**

### **5.1 Особливості випробувань на кліматичні впливи**

Випробування РЕЗ на вплив кліматичних факторів проводять для перевірки здатності виробів виконувати свої функції, зберігати параметри і зовнішній вигляд в межах встановлених норм при впливі кліматичних факторів.

Прийнята наступна структура методики випробувань РЕЗ на кліматичні впливи:

- попередня витримка (стабілізація властивостей виробів), початкові вимірювання параметрів і зовнішній огляд виробів;
- установка виробів в камери, витримка їх в умовах випробувального режиму, витяг з камер і відновлення (кінцева стабілізація властивостей);
- зовнішній огляд виробів і заключні вимірювання параметрів виробу.

#### **5.1.1 Попередня витримка**

Попередню витримку проводять з метою повного або часткового усунення наслідків впливу на вироби попередніх умов. Вироби витримують, як правило, в нормальних кліматичних умовах (температура  $25 \pm 10$  ° С, відносна вологість 45-75%, атмосферний тиск, що дорівнює  $(0,86...1,06) \times 10^5$  Па).

Витримку виробів, на результати вимірювання параметрів яких може істотно впливати відносна вологість, виконують в умовах, що забезпечують відтворену товщину вологи, адсорбованої на поверхні виробу. Ці умови передбачають суворе підтримання температури при відносній вологості 73-77%.

Тривалість попередньої витримки визначається часом, достатнім для встановлення теплової рівноваги виробів з навколишнім середовищем. Зазвичай воно не перевищує 2 год. Початкові і заключні вимірювання параметрів виробів проводяться при одних і тих же значеннях температури і вологості навколишнього середовища.

### **5.1.2 Установка виробів в камери кліматичних випробувань**

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.

Спосіб установки і положення виробів при випробуванні мають важливе значення для відтворюваності його результатів. Якщо при експлуатації можливі кілька варіантів положення виробу, то слід вибрати варіант, який би забезпечував найбільшу жорсткість випробування.

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, пристосування (касетах, що контактують з пристроями). Металеві частини пристосувань обов'язково повинні мати антикорозійне покриття.

Час витримки в випробувальному режимі відраховують з моменту встановлення режиму в камері. Це час при підвищеній (зниженій) температурі повинен бути достатнім для прогріву (охолодження) виробів за усім об'ємом.

Вироби у вимкненому стані вважаються досягнувшими температури довілля (теплової рівноваги), якщо температура найпотужніших частин (або інших частин, зазначених в ПВ і ТУ), яка визначає прогрів за усім об'ємом, відрізняється від температури навколишнього середовища не більше ніж на  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Час прогріву (охолодження) виробів за усім об'ємом встановлюють на етапі попередніх випробувань за допомогою датчиків для контролю температури.

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

Допускається не контролювати температуру частин апаратури, якщо ці частини не мають захисту, призначеного для теплоізоляції. В

цьому випадку виріб, в залежності від маси, витримують для досягнення температури навколишнього середовища. Час витримки залежить від маси виробів та наведений у табл. 5.1

Таблиця 5.1 - Час витримки виробів для досягнення температури навколишнього середовища під час кліматичних випробувань

Маса виробу, кг	Час витримки, год.
менш 2	2
від 2 до 10	3
від 10 до 20	4
від 20 до 50	6
від 50 до 100	8
від 100 до 300	10

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

При неможливості вимірювання параметрів виробу без вилучення з випробувальної камери при різних видах випробувань допускається проводити ці вимірювання поза камерою. Методика і час вимірювання параметрів після вилучення з камери обумовлюються в ПВ і ТУ на виріб.

### **5.1.3 Зовнішній огляд виробів**

Зовнішній огляд виробів здійснюється відповідно до НТД.

### **5.1.4 Особливості проведення випробувань на кліматичні впливи на різних стадіях проектування. Нормалізована послідовність кліматичних випробувань**

Кліматичні випробування проводять не тільки на стадії проектування РЕЗ, але і в серійному виробництві для відбракування

потенційно ненадійних виробів (приймально-здавальні випробування) і для контролю стабільності виробництва (періодичні випробування).

Режими та умови випробування РЕЗ встановлюють залежно від ступеня жорсткості, який, в свою чергу, визначається умовами подальшої експлуатації РЕЗ в складі системи. Вироби вважають такими, що витримали випробування, якщо вони під час і після його проведення задовольняють вимогам, заданим в ПВ і ТУ для даного виду випробувань.

Для підвищення інформативності та ефективності кліматичних випробувань при освоєнні і виробництві виробів доцільно проводити їх в послідовності, при якій кожне наступне випробування підсилює вплив попереднього, яке могло б залишитися непоміченим.

Рекомендується так звана нормалізована послідовність кліматичних випробувань, що включає випробування при підвищеній температурі, короткочасне випробування на вологостійкість в циклічному режимі (перший цикл), випробування на вплив знижених температури і атмосферного тиску, випробування на вологостійкість в циклічному режимі (інші цикли).

При цьому між будь-якими із зазначених випробувань допускається перерва не більше 3 діб, за винятком інтервалу між випробуваннями на вологостійкість і на вплив зниженої температури, який не повинен перевищувати 2 год. Параметри виробу зазвичай вимірюють на початку і в кінці нормалізованої послідовності.

## **5.2 Випробування на температурні впливи**

### **5.2.1 Випробування на підвищену температуру**

Випробування на вплив підвищеної температури проводять з метою визначення здатності РЕЗ зберігати свої параметри і зовнішній вигляд в межах ТУ в процесі і після впливу верхнього значення температури.

Розрізняють два методи випробування РЕЗ на вплив підвищеної температури:

- випробування під термічної навантаженням;
- випробування під суміщеної термічної і електричної навантаженням.

Першому методу випробувань піддаються нетеплорозсіюючі вироби, температура яких в процесі експлуатації залежить тільки від температури навколишнього середовища, другому - теплорозсіюючі РЕЗ, які в робочому стані нагріваються за рахунок виділеної потужності під дією електричного навантаження.

Вироби, відібрані для випробувань, повинні задовольняти вимогам ТУ за зовнішнім виглядом і за значеннями параметрів, що контролюються.

**При випробуванні виробів тільки під термічної навантаженням їх витримують при даній температурі протягом заданого часу.**

**При випробуванні під суміщеним навантаженням вироби поміщають в камеру і випробують під нормальним або максимально допустимим для даних виробів електричним навантаженням, що відповідає верхньому значенню температури зовнішнього середовища, яке встановлюється в залежності від ступеня жорсткості випробувань (табл. 5.2).**

Таблиця 5.2 - Ступіні жорсткості випробувань на підвищені температури

Ступінь жорсткості	I	IV	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Температура, °С	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

Час випробування на підвищені температури визначається часом, необхідним для досягнення випробовуваним виробом теплової рівноваги, а також часом витримки при цій температурі і вибирається з ряду 2, 16, 72, 96 год.

Можливі два види проведення випробувань теплорозсіюючих виробів.

При першому способі досягнення заданого температурного режиму виробів визначається контролем температури повітря в камері, яка встановлюється рівною верхньому значенню температури навколишнього середовища при експлуатації (зазначеної в ТУ).

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

Випробування першим способом можливі, коли обсяг камери досить великий. Щоб імітувати умови вільного обміну повітря, в камері відсутня примусова циркуляція повітря або її охолоджуваною дією можна знехтувати. Проведення випробування за першим способом можливо також у разі, коли температура перегріву ділянки (вузла) виробу, певна в нормальних кліматичних умовах (поза камерою), не перевищує  $25^{\circ}\text{C}$  і різниця заданої температури повітря в камері при випробуванні і температури нормальних кліматичних умови не перевищує  $35^{\circ}\text{C}$ .

В інших випадках випробування теплорозсіюваних виробів слід проводити другим способом.

Вимірювання параметрів випробовуваних виробів проводять після досягнення теплової рівноваги без вилучення виробів з камери. Для проведення вимірювань виріб підключають до зовнішніх комутаційних ланцюгів вимірювальної системи. Якщо вимірювання параметрів без вилучення з камери технічно неможливо, то допускається вилучення виробу з камери для вимірювання. Однак час вимірювання не повинен перевищувати 3 хв., якщо інше значення часу спеціально не обумовлено в ТУ.

Для випробувань на підвищені температури застосовують спеціальні камери тепла.

### **5.2.2 Випробування на знижену температуру**

Випробування на вплив знижених температур проводять з метою перевірки параметрів виробів в умовах впливу низької температури зовнішнього середовища, а також після перебування їх в цих умовах.

Вироби поміщають в камеру холоду, після чого встановлюють значення найнижчої температури згідно зі ступенем жорсткості (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 - Ступіні жорсткості випробувань на холодостійкість

Ступінь жорсткості	III	IV	VII	VIII
Температура, °C	-10	-25	-45	-60

Час витримки при заданій температурі вибирають в залежності від встановленої жорсткості випробувань з тимчасового ряду значень, наведених в ТУ. Проводяться вимірювання тих же параметрів, що і при випробуванні на вплив підвищених температур.

Для перевірки працездатності виробу передбачається витримка виробів під електричним навантаженням при заданій температурі.

Вимоги з розташування випробовуваних виробів аналогічні вимогам при випробуванні на вплив підвищених температур.

### 5.2.3 Випробування на зміну температур

Випробування на зміну температур проводяться для визначення здатності виробів протистояти швидкій зміні температур.

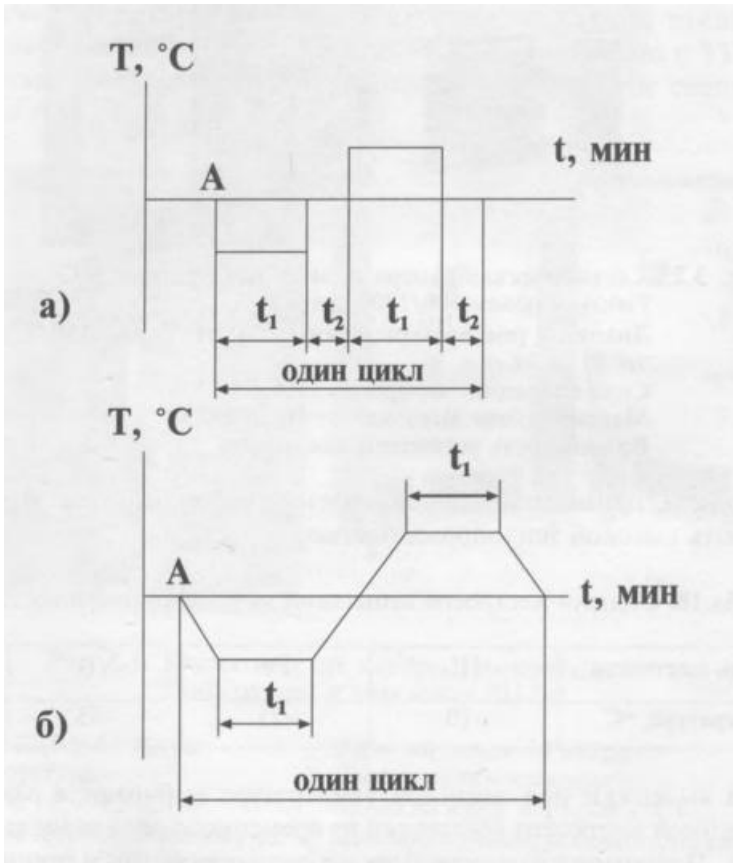
Випробування проводяться одним з таких методів:

- метод двох камер;
- метод однієї камери;
- метод дворідинних ванн;
- комбінований метод.

**5.2.3.1 За методом двох камер** (швидка зміна температури) випробування проводять в камерах тепла і холоду без подачі на виробу електричного навантаження.

Вироби піддають дії трьох безперервно наступних один за одним циклів, якщо більше число циклів не встановлено в ТУ. Кожен цикл складається з наступних етапів:

- вироби поміщають в камеру холоду і витримують протягом часу, встановленого в ТУ (рис. 5.1а);
- після витримки в камері холоду вироби переносять в камеру тепла і витримують протягом певного часу.



- а) при випробуванні методом двох камер;  
 б) при випробуванні методом однієї камери;  
 А - початок циклу,  $t_1$  - час витримки,  $t_2$  - час перенесення.

Рисунок 5.1 - Графіки зміни температури одного циклу

**5.2.3.2 За методом однієї камери** (поступова зміна температури) випробування проводять без подачі на вироби електричного навантаження.

Вироби піддають дії двох безперервно наступних один за одним циклів. Кожен цикл складається з наступних етапів:

- вироби поміщають в камеру, після чого температуру знижують і витримують протягом часу, вказаного в ТУ;
- температуру в камері підвищують, витримують і знижують протягом певного часу (рис 5.1б).

**5.2.3.3 За методом дворідинних ванн** (різка зміна температури) випробування проводять в двох ваннах з водою, в одній з яких вода має знижену, а в інший підвищену температуру. Вироби піддають дії 10 циклів. Кожен цикл складається з наступних етапів:

- вироби занурюють у ванну з холодною водою;
- вироби занурюють у ванну з киплячою водою.

**5.2.3.4 Випробування комбінованим методом** проводять в камерах вологості, тепла і холоду в наступному порядку:

- на вплив підвищеної вологості;
- на холодостійкість при температурі експлуатації;
- на теплостійкість в камері під електричним навантаженням;
- на вплив підвищеної вологості.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо вони задовольняють вимогам, заданим в ПВ або ТУ.

### **5.3 Випробування на вплив підвищеної вологості**

Вологостійкістю називають здатність апаратури зберігати працездатність в умовах підвищеної відносної вологості.

Розрізняють два види випробування на вологостійкість: тривалі і короточасні.

**Тривалі випробування** проводяться з метою визначення здатності виробів зберігати свої параметри в умовах і після тривалого впливу вологості.

**Короточасні випробування** проводяться з метою оперативного виявлення грубих технологічних дефектів в серійному виробництві і дефектів, які могли виникнути в попередніх випробуваннях.

Обидва види випробувань на вологостійкість можуть проводитися в безперервному (без конденсації вологи) або циклічному (з конденсацією вологи) режимах.

Конкретний метод випробування встановлюється в залежності від призначення і умов експлуатації виробів.

### 5.3.1 Випробування без конденсації вологи (безперервний режим)

У безперервному режимі випробувань не передбачається конденсації вологи на виробах, тому безперервні випробування проводять при постійних значеннях температури і вологості в камері.

Вироби поміщають в камеру вологості і витримують при температурі, зазначеній в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Тривалість випробувань (сутки) на вологостійкість при безперервному режимі в залежності від ступеня жорсткості.

Температура повітря, °С	Ступінь жорсткості						
	Тривале випробування				Прискорене випробування		
	II	III,IV,VI	V,VII	VIII	III,IV	V,VIII	VIII
25±2	2	-	-	-	-	-	-
40±2	-	10	21	56	-	-	-
55±2	-	-	-	-	4	7	14

Відповідно для тривалого або прискореного випробування час витримки виробів при заданій температурі визначається необхідністю досягнення виробом теплової рівноваги. Потім відносну вологість повітря в камері підвищують до  $95 \pm 3\%$  і далі підтримують її і температуру постійними протягом усього часу випробування.

### 5.3.2 Випробування з конденсацією вологи (циклічний режим)

Циклічний режим випробування характеризується впливом підвищеної вологості при циклічній зміні температури в камері. В результаті створюються умови для випадання роси на зовнішніх поверхнях виробів (при швидкому зниженні температури) і подальшого її випаровування (в період підвищення температури), що сприяє інтенсивному розвитку процесів корозії.

При зниженні температури волога в камері може проникати всередину виробів через різні мікроканали в зварних, паяних швах, місцях з'єднання матеріалів і т.ін. Фізичний механізм цього явища полягає в наступному. При зниженні температури в камері повітря у внутрішній порожнині випробовуваного виробу охолоджується і тиск зменшується. За рахунок виникаючого перепаду тисків в навколишньому середовищі і всередині порожнини волога дифундує по капілярах всередину цієї порожнини (корпусу).

З урахуванням цього випробування на вологостійкість в циклічному режимі слід рекомендувати в першу чергу для виробів, які мають вільні внутрішні порожнини, наприклад для виробів в пластмасових корпусах з вільним внутрішнім об'ємом, металоскляних і металокерамічних корпусах з вільним об'ємом і т.ін.

У разі тривалого випробування на вологостійкість при циклічному режимі загальна тривалість випробування в залежності від ступеня жорсткості вибирається з таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Тривалість випробувань (сутки) на вологостійкість при циклічному режимі в залежності від ступеня жорсткості

Температура повітря, °С	Ступінь жорсткості				
	Тривале випробування			Прискорене випробування	
	III,IV,VI	V,VII	VIII	V,VII	VIII
40±2	4	9	21	-	-
55±2	-	-	-	4	9

В умовах короточасних випробувань на вологостійкість при циклічному режимі вироби піддаються впливу чотирьох або дев'яти циклів, тривалість кожного з яких становить 24 години. Число циклів встановлюється у ТУ в залежності від конструкції і призначення виробів.

Існують два методи випробувань з конденсацією вологи.

### 5.3.2.1 Циклічний режим 16 + 8 годин

Випробування проводять без електричного навантаження. Вироби піддають дії безперервно послідовно діючих один за одним циклів (рис. 5.2).

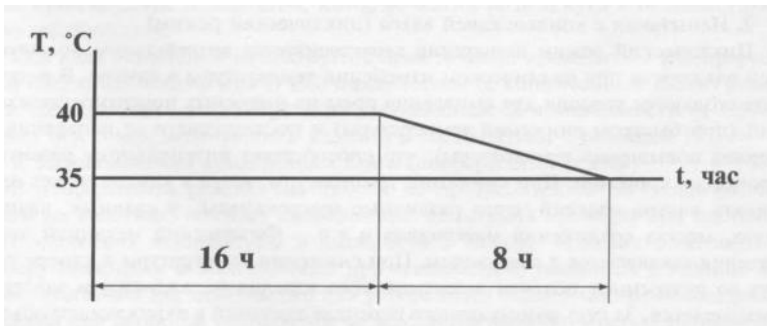


Рисунок 5.2 - Етапи кожного циклу (16+8 год.) при випробуванні на підвищену вологість

Кожен цикл складається з двох частин.

У першій частині циклу вироби протягом 16 годин піддають дії відносної вологості  $(93 \pm 3)\%$  при температурі, зазначеній на рис 5.2.

У другій частині циклу виріб в камері охолоджують протягом 8 годин до температури не менше ніж на  $5^{\circ}\text{C}$  нижче зазначеної на рис 5.2. Відносна вологість при цьому повинна бути  $(94-100)\%$ .

1.

### 5.3.2.2 Циклічний режим 12 + 12 годин

Випробування проводять у камері вологи, яка повинна підтримувати випробувальний режим з відхиленнями, що не перевищують зазначені на рис. 5.3.

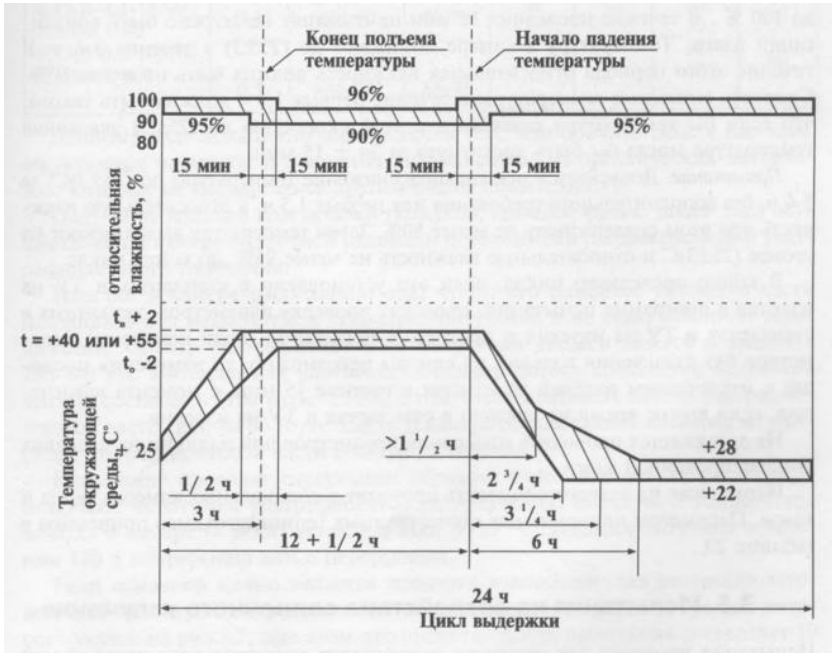


Рисунок 5.3 - Етапи кожного циклу (12 + 12 год.) при випробуванні на підвищену вологість

Вироби випробують без електричного навантаження. Вироби, у яких при зволоженні під напругою може проявитися руйнівна дія електролізу або електрохімічної корозії, випробують з додаванням електричної напруги.

Вироби витримують в нормальних кліматичних умовах випробування протягом часу, зазначеного в стандартах і ТУ на вироби і в програмі випробувань.

Вироби встановлюють в камері і піддають дії безперервно послідовно діючих один за одним тривалістю 24 год. кожен. Число циклів встановлюють в стандартах і ТУ на вироби і ПВ і вибирають з табл. 5.6.

Таблиця 5.6 - Режими випробувань на підвищену вологість при циклічному режимі (12 + 12 год.)

Характеристика випробувань	Тривале випробування для ступенів жорсткості			Прискорене випробування для ступенів жорсткості	
	IV, XII	V	IX	V	IX
Загальна тривалість витримки (кількість циклів)	6	12	21	4	9
Верхня температура, °C	40±2	40±2	40±2	55±2	55±2

Підвищення температури і вологості при проведенні кожного циклу має бути досить швидким, щоб забезпечити конденсацію вологи (випадання роси) на виробах.

У камері встановлюють температуру  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  і відносну вологість не менше 95%. Температуру в камері підвищують до температури зазначеної в табл. 5.6 протягом  $(3 \pm 0,5)$  год.

Протягом цього періоду відносна вологість повинна бути не менше 95%, за винятком останніх 15 хв., протягом яких вона повинна бути не менше 90%. На виробах в цей період повинен утворитися конденсат.

У камері підтримують температуру, зазначену в табл. 5.6 протягом  $(12 \pm 0,5)$  год. від початку циклу.

Відносна вологість в цей період повинна бути  $(93 \pm 3)\%$  за винятком перших і останніх 15 хв., коли вона повинна бути в межах від 90 до 100%. Протягом останніх 15 хв на виробах не повинно бути конденсації вологи. Температуру в камері знижують до  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$

протягом 3...6 год. Протягом цього періоду відносна вологість повинна бути не менше 95%.

Швидкість зниження температури протягом перших 1,5 год. повинна бути такою, що якби температура знижувалася з цією швидкістю до  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ , зазначена температура могла б бути досягнута за 3 год.  $\pm 15$  хв.

Допускається проводити зниження температури до  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$  за 3...6 год. без додаткової вимоги для перших 1,5 год, а відносну вологість при цьому підтримувати не менше 80%. Потім температуру витримують на рівні  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$  і відносну вологість не менше 95% до кінця циклу.

В кінці останнього циклу, якщо це встановлено в стандартах і ТУ на виріб і програму випробувань, проводять перевірку параметрів, зазначених в стандартах і ТУ на вироби та програмою випробувань. Якщо вимірювання параметрів без вилучення виробів з камери неможливо, то вимірювання проводять з витяганням виробів з камери протягом 15 хв. з моменту вилучення, якщо інший час не вказаний в стандартах і ТУ на вироби.

Не допускається проводити вимірювання параметрів при наявності на виробах конденсованої вологи.

Випробування на вологостійкість проводять в спеціальних камерах тепла і вологи.

## **5.4 Випробування на вплив інею і роси**

Випробування цього виду проводять з метою перевірки здатності виробів витримувати номінальну електричну напругу при конденсації на них інею і роси.

Випробування на вплив атмосферних конденсованих опадів в лабораторних умовах проводять в камерах холоду, вологості і термобарокамерах.

Перед початком і після випробування вироби витримують при нормальних кліматичних умовах, якщо інші умови з більш жорсткими допусками не обумовлені в НГД або ПВ, і вимірюють параметри, зазначені в стандартах і ТУ на виріб і ПВ, в тому числі проводять перевірку повним значенням випробувальної напруги.

Порядок випробувань наступний:

- вироби поміщають в камеру холоду і витримують при температурі  $20 \pm 5$  °С протягом 2 год;
- вироби витягують з камери, поміщають в нормальні умови, після чого на вироби подають електричну напругу, причому вид напруги, її значення, час витримки і місце для вкладання встановлюють в НД або ПВ.

Вважають, що вироби витримали випробування, якщо при подачі напруги не відбулося пробою.

## 5.5 Випробування на вплив соляного туману

Випробування проводять з метою визначення корозійної стійкості виробів в атмосфері, насиченій водними розчинами солей.

Вироби поміщають в камеру, температуру в якій встановлюють рівній  $27 \pm 2$ °С, і піддають дії соляного туману. Вироби розташовують у камері так, щоб в процесі випробування бризки розчину з пульверизатора або аерозольного апарату, а також краплі зі стелі, стін і системи підвісів, потрапляли на вироби.

Якщо виріб експлуатують в захисній оболонці, він повинен проходити випробування у ній.

Туман утворюється розпилювачем - відцентровим аерозольним апаратом або пульверизатором соляного розчину, який готують, розчиняючи в дистильованій (деіонізованій) воді хлористий натрій за ГОСТ 4233-77.

Розчин розпилюють на протязі 15 хв через кожні 45 хв.

Туман повинен мати дисперсійність 1...10 мкм (95% крапель) і водність 2-3 г / м<sup>3</sup>. Метод визначення дисперсності і водності туману наведені в ГОСТ 16962-71.

Після закінчення випробування вироби промивають в дистильованій воді, після чого вони повинні бути просушеними.

Загальний час випробування становить 2, 7 або 10 діб. Конкретний час випробування встановлюється в стандартах і ПВ.

Вироби вважають витримавшими випробування, якщо вони за зовнішнім виглядом задовольняють вимогам ТУ або стандарту на вироби для даного виду випробувань.

## 5.6 Випробування на зовнішній вплив води

За ступенем захисту від впливу води виробу випускають в чотирьох виконаннях: В1, В2, В3, В4.

Вироби повинні бути працездатні і зберігати свої характеристики за таких умов:

- В1 - при впливі дощу, що падає під кутом не більше  $60^\circ$  до вертикалі;
- В2 - при впливі бризок води, падаючих в будь-якому напрямку;
- В3 - при впливі струменів води, падаючих в будь-якому напрямку;
- В4 - при повному зануренні у воду.

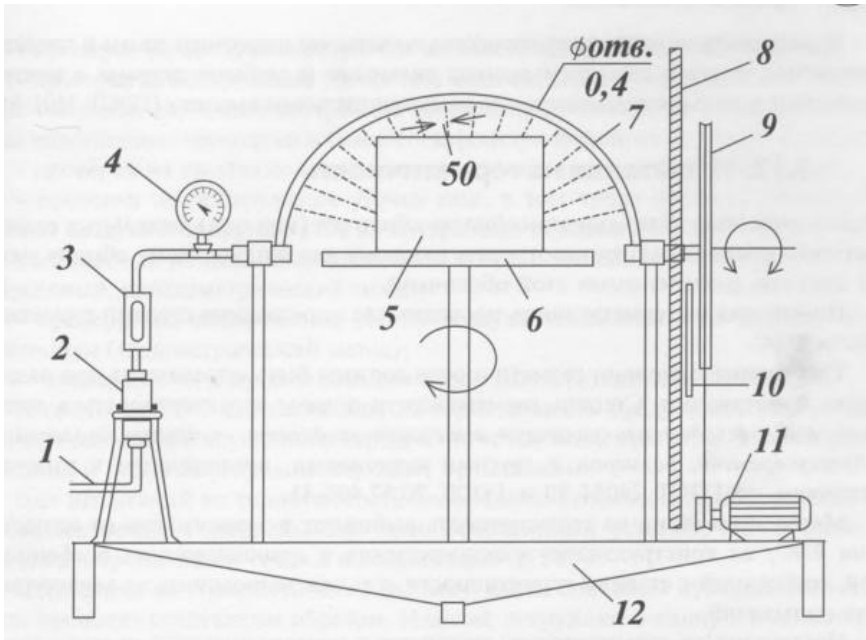
**Випробування виробів виконання В1** проводять на випробувальній установці (рис. 5.4) шляхом подачі на виріб води, що проходить через отвори в трубці, яка хитається (7).

Трубка з внутрішнім діаметром 18 мм у вигляді півкільця має за всією довжиною на внутрішній стороні отвори діаметром 0,4 мм, розташовані через 50 мм.

Трубка виконує коливальні рухи з відхиленням на кут  $60^\circ$  від вертикалі в обох напрямках зі швидкістю 1,05 рад/с ( $60^\circ$  в 1 с).

Радіус дуги трубки повинен бути найменшим в залежності від габаритних розмірів виробів (вибирається з ряду 160, 250, 400, 630 мм). Тиск води біля входу в трубку 0,1 МН/м<sup>2</sup>.

Виріб встановлюють на ґратчастому столі (6), що забезпечує проходження води до виробу, який обертається навколо вертикальної осі з частотою 1 об. / хв. Тривалість дії 10 хв. Під час випробування виріб повинен повертатися навколо вертикальної осі. Інтенсивність дощу вимірюють в місці розташування виробу протягом не менше 30 с, за допомогою циліндричного збірника діаметром від 10 до 20 см і заввишки не менше половини діаметра.



1 - введення води за ГОСТ 18722-73; 2 - фільтр; 3 - ротаметр за ГОСТ 13045-81; 4 - манометр за ГОСТ 2405-80 (СТ РЕВ 1641-79); 5 - випробувана апаратура; 6 - стіл; 7 - трубка за ГОСТ 617-72 або ГОСТ 18475-73; 8 - захисний щиток; 9 - шків; 10 - щиток кінцевих вимикачів; 11- електродвигун реверсивний за ГОСТ 16264-78Е; 12 - піддон для зливу води.

Рисунок 5.4 - Схема установки для випробувань на зовнішній вплив води

**Випробування виробів виконання В2 на брискозахищеність** проводять за методикою, наведеною вище для виконання В1 за умови, якщо коливальна трубка відхиляється на кут  $170^\circ$  від вертикалі в обох напрямках зі швидкістю 1,48 рад/с. Окропленням тривалістю 10 хв. піддають по черзі чотири основні сторони виробу.

При розміщенні в випробувальній установці необхідно враховувати експлуатаційне положення.

Зона дії бризок повинна перекривати габаритні розміри виробів не менш ніж на 30 см, напрямок падіння має становити кут  $45^\circ$  з площиною розташування виробів.

Температура води в початковий момент випробувань повинна бути нижче температури виробів на  $10...15^\circ\text{C}$ .

Вироби протягом 2 год. піддають дії бризок з інтенсивністю 5 або 3 мм / хв.

Вироби, які в умовах експлуатації можуть піддаватися безпосередній дії крапель, повинні бути стійкі до впливу, верхнє значення інтенсивності якого 5 мм/хв. за винятком виробів, розрахованих на напругу вище 1000 В, виконаннях для помірною і холодного клімату (виконання У і ХЛ), для яких верхнє значення інтенсивності бризок становить 3 мм/хв.

**Випробування виробів водозахищеного виконання В3**  
**проводять для перевірки здатності оболонки (кожухів) виробів не пропускати воду при накаті хвиль.**

Для цього вироби обливають по черзі з усіх боків струменем води з циліндричної насадки з відстані 1,5 м від виробу. Тиск води перед насадкою має бути  $0,2 \text{ МН/м}^2$ , діаметр отвору насадки 50-75 мм.

Тривалість дії 15 хв.

**Випробування виробів виконання В4 на водонепроникність**  
**проводять для перевірки стійкості параметрів РЕЗ після перебування їх у воді.**

Для цього вироби опускають у воду, що має температуру  $20 \pm 10^\circ\text{C}$ , на глибину 0,5...1,0 м.

Тривалість дії води повинна бути не менше 30 хв.

Після випробувань зовнішні поверхні виробу насухо протирають і розкривають, щоб встановити відсутність вологи всередині корпусу.

Результати випробувань вважаються задовільними, якщо після дослідження всередині виробу не буде виявлено слідів води, параметри відповідають параметрам і вимогам, зазначеним в стандартах і ПВ для даного виду (В1, В2, В3, В4) виконань.

## **5.7 Випробування на вплив тиску - атмосферного та гідростатичного**

### **5.7.1 Випробування на вплив зниженого атмосферного тиску**

Випробування на вплив зниженого атмосферного тиску проводять з метою перевірки стійкості параметрів і збереження зовнішнього вигляду виробу в умовах зниженого атмосферного тиску.

Слід зауважити, що при значному зниженні атмосферного тиску суттєво порушується конвекційний теплообмін, тому випробування слід проводити у термобарокамерах при підвищеній температурі.

Випробування на вплив зниженого атмосферного тиску проводять одним з таких методів:

- при нормальній температурі; при підвищеній робочій температурі для виробів, призначених для роботи при тиску 6,7 кПа і вище;
- при підвищеній робочій температурі для виробів, призначених для роботи при тиску нижче 6,7 кПа.

Перший метод застосовують для випробування нетепловиділяючих виробів, а також для випробування тепловиділяючих виробів, для яких нагрів при електричному навантаженні, нормованому для зниженого атмосферного тиску, не є критичним.

Для забезпечення відтворюваності результатів випробувань тепловиділяючих виробів на вплив зниженого атмосферного тиску необхідно правильно вибрати співвідношення площі поверхні, що оточує виріб, і загальної площі поверхні виробу за ГОСТ 20.57.406-81.

Випробування проводять в термобарокамері, яка повинна забезпечувати випробувальний режим з відхиленнями, що не перевищують зазначені в стандарті, ТУ або ПВ.

Спосіб установки і положення виробів при випробуваннях, а також мінімально допустимі відстані між виробами в термобарокамері встановлюють в стандартах, ТУ на вироби і ПВ. Визначення

мінімально допустимих відстаней між тепловиділяючими виробами в термобарокамері проводять відповідно до ГОСТ 20.57.406-81.

При випробуванні виробів, призначених для роботи при напрузі нижче 300 В, тиск повітря в термобарокамері встановлюють відповідно зі ступенем жорсткості в залежності від пониженого атмосферного тиску і підвищеної температури за ТУ на вироби і ПВ, Потім проводять перевірку параметрів виробів.

Для виробів, призначених для роботи при тиску 0,67 кПа та вище і напрузі нижче 300 В, тиск в термобарокамері плавно знижують від 1,33 кПа до значення, встановленого в стандартах, ТУ на вироби і ПВ. Протягом всього часу зміни тиску перевіряють параметри, що залежать від електричної міцності повітряних проміжків.

При випробуванні виробів, призначених для роботи при тиску не вище 0,67 кПа і напрузі не нижче 300 В, тиск в барокамері встановлюють 1,33 кПа. Потім тиск плавно знижують до значень згідно з ступенем жорсткості, при цьому протягом всього часу зміни тиску перевіряють параметри, що залежать від електричної міцності повітряних проміжків. Перелік цих параметрів встановлюють в стандартах, ТУ на вироби і ПВ.

Вироби витримують в умовах зниженого тиску повітря протягом часу, зазначеного в стандартах і ПВ. Після закінчення часу витримки перевіряють параметри, не витягуючи вироби з камери.

### **5.7.2 Випробування на вплив підвищеного атмосферного тиску**

Випробування на вплив підвищеного атмосферного тиску проводять з метою перевірки стійкості параметрів і збереження зовнішнього вигляду виробу в умовах підвищеного атмосферного тиску.

Випробування проводять у такий спосіб: апаратуру поміщають в барокамеру, тиск в якій доводять до заданого значення, витримують при цьому тиск протягом часу, встановленого в стандартах, ТУ або ПВ, і проводять перевірку параметрів апаратури; тиск в камері плавно знижують до нормального, після чого виріб витягають з камери, піддають зовнішньому огляду, перевіряють параметри.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо в процесі випробування і після нього вони задовольняють вимогам, встановленим в ТУ, стандартах і ПВ для даного виду випробувань.

При складанні вимог і основних положень до проведення випробувань на вплив атмосферного тиску слід користуватися ГОСТ 24631-81 і ГОСТ 20.57.406-81.

### **5.7.3 Випробування на вплив підвищеного гідростатичного тиску**

Мета випробування - визначення здатності виробів зберігати свої параметри в умовах перебування під водою.

Випробування проводять наступним чином:

- вироби поміщають в бак, в якому створюють гідростатичний тиск, встановлений в ТУ або стандартах;
- при цьому тиску вироби витримують протягом 15 хв., після чого тиск знижують до нормального значення;
- тиск повторно підвищують до значення, відповідного граничної глибини занурення та витримують вироби при цьому тиску протягом 24 год., причому в кінці проводять вимірювання параметрів зазначених у стандартах і ПВ для даного виду випробувань;
- тиск знижують до нормального і, не витягуючи вироби з води, перевіряють параметри, зазначені в стандартах і ПВ.

Після вилучення виробу з води проводять перевірку параметрів, зазначених в стандартах і ПВ. Вважають, що вироби витримали випробування, якщо в процесі і після випробування вони задовольняють вимогам, встановленим в НТД або ПВ.

### **5.8 Випробування на вплив пилу**

Існує два методи випробувань на вплив пилу:

- випробування апаратури на вплив статичного пилу (піску);
- випробування на вплив динамічного пилу (піску).

В обох випадках випробування виробів на вплив пилу проводять в пилонапроникної камері, корисний об'єм якої повинен перевищувати об'єм виробу не менше ніж в 5 разів. В камеру, забезпечену пристроєм для безперервної циркуляції повітря, зі

швидкістю 0,5-15 м/с перед випробуваннями загрузають пилову суміш об'ємом 0, 1% корисного об'єму камери.

### **5.8.1 Випробування на вплив статичного пилу**

Випробування апаратури при дії статичного пилу проводять для перевірки здатності виробів працювати в середовищі з підвищеною концентрацією пилу.

Вироби поміщають в камеру і розміщують на ґратчастому столі таким чином, щоб вплив пилу був найбільш ефективним і відповідав можливому впливу пилу в умовах експлуатації.

Спосіб установки виробів вказують в стандартах, ТУ на вироби і ПВ.

Температура повітря в камері повинна бути  $55 \pm 3^{\circ}\text{C}$  при відносній вологості не більше 50%.

Пилова суміш повинна складатися з флюоресцентного порошку (10)%, наприклад люмінофора ФКП-03 (сульфід цинку), що проходить крізь сито з сіткою N005, кварцового піску (60%), крейди (15%), каоліну (15%), що проходить через сито N014 (ГОСТ 6613-73).

Швидкість циркуляції повітря в камері до початку осідання пилу повинна бути 0,5-1 м / с.

Після циркуляції повітря в камері і подальшого осідання пилу протягом 2 год., що апаратуру витягують з камери, видаляють пил з зовнішніх поверхонь, розкривають і опромінюють ультрафіолетовим світлом, щоб встановити проникненість пилу у виріб. При цьому рекомендується користуватися лампами ультрафіолетового випромінювання типу ПРК зі світлофільтрами марки УФС.

### **5.8.2 Випробування на вплив динамічного пилу**

Випробування проводять для перевірки стійкості виробів до руйнівного (абразивного) впливу пилу.

Вироби поміщають в камеру пилу і розтшовують таким чином, щоб вплив пилу був найбільш ефективним і відповідав можливому впливу пилу в умовах експлуатації.

Вироби піддають дії пилової суміші, що знаходиться в підвішеному стані в камері протягом 4 год. Потім протягом 2 год. відбувається осідання пилу без циркуляції повітря в камері.

Пилова суміш містить кварцовий пісок (70%), крейду (15%) і каолін (15%), що проходить через сито з сіткою N0224 за ГОСТ 6313-73.

Швидкість циркуляції повітря в камері до осідання пилу повинна бути 10-15 м / с.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо в процесі або після випробування їх параметри задовольняють вимогам, встановленим в стандартах, ТУ і ПВ для даного виду випробувань.

## 5.9 Випробування на вітростійкість

Вітростійкістю називають здатність РЕЗ зберігати при впливі вітру свої характеристики в межах норм, встановлених в стандартах, ТУ або ПВ.

Згідно ГОСТ 22261-76 для IV-VII ступенів жорсткості в ТУ допускається встановлювати вимоги з вітростійкості.

Випробування РЕЗ IV-VII ступенів жорсткості на вітростійкість проводять наступним чином:

- після вимірів в нормальних умовах характеристик, встановлених для випробувань даного виду в стандартах або ТУ, виріб включають і встановлюють в робочому положенні в аеродинамічній трубі або під вентиляційною установкою, що забезпечують повітряний потік;
- виріб включають і обдувають повітряним потоком під різними кутами (через 45°) по 5...10 хв. в кожному положенні (в напрямку найбільшої парусності тривалість обдуву повинна бути 20 хв.);
- при впливі повітряного потоку перевіряють необхідні характеристики;
- припиняють подачу повітря і вимикають виріб;
- виріб вдруге обдувають повітряним потоком зі швидкістю не менше 50 м/с під кутами через 45° по 5...10 хв. в кожному положенні (в напрямку найбільшої парусності тривалість обдуву повинна бути 20 хв.);

- після перебування в нормальних умовах експлуатації протягом часу, встановленого в стандартах або ТУ, виріб включають і після закінчення часу встановлення робочого режиму перевіряють необхідні характеристики.

У тому випадку, коли вітер є фактором, що істотно впливає на РЕЗ (наприклад РЛС, антени тощо), при розробці та випробуванні РЕЗ необхідно розглядати характеристики вітру за ГОСТ.

Характеристики вітру розподіляються за чотирма широтними зонами і представницькими пунктами з екстремальними сильними і слабкими вітрами в кожній широтній зоні і розраховуються з урахуванням геопотенціальності висот (ГОСТ 4401-81).

## **5.10 Випробування на вплив сонячного випромінювання**

Випробування проводять для перевірки збереження зовнішнього вигляду виробів або їх окремих деталей і складальних одиниць, а також їх параметрів після впливу сонячного випромінювання.

Даному виду випробувань підлягають РЕЗ їх конструктивні елементи і покриття, виконані з органічних матеріалів, які не піддавалися іншим видам випробувань.

Опромінення виробів або деталей (кожухів, кришок, ручок, шкал і т.ін.) здійснюють в камері сонячної радіації джерелами інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання.

Вироби в камері розташовують так, щоб їх найбільш уразливі частини знаходилися під впливом джерела опромінення і не було взаємної екранізації.

Спектр ультрафіолетового випромінювання повинен лежати в межах 280-400 нм. Інтегральна щільність теплового потоку сонячного випромінювання повинна складати  $1120 \text{ Вт/м}^2 \pm 10\%$ , в тому числі щільність потоку ультрафіолетової частини спектра  $68 \text{ Вт/м}^2 \pm 25\%$ .

У камері здійснюють перевірку впливу ультрафіолетової частини спектра на виріб.

Випробування проводять у такий спосіб: вироби поміщають в камеру, включають джерела ультрафіолетового випромінювання, після чого температуру повітря в камері (в тіні) встановлюють

$55 \pm 2^\circ\text{C}$ . Вироби опромінують протягом 120 годин неперервно або з перервами.

Якщо основною метою є перевірка взаємодії ультрафіолетової частини спектра з нагріванням, випробування проводять за режимом, графік якого вказано на рис. 5.5, при цьому тривалість випробування становить 10 циклів.

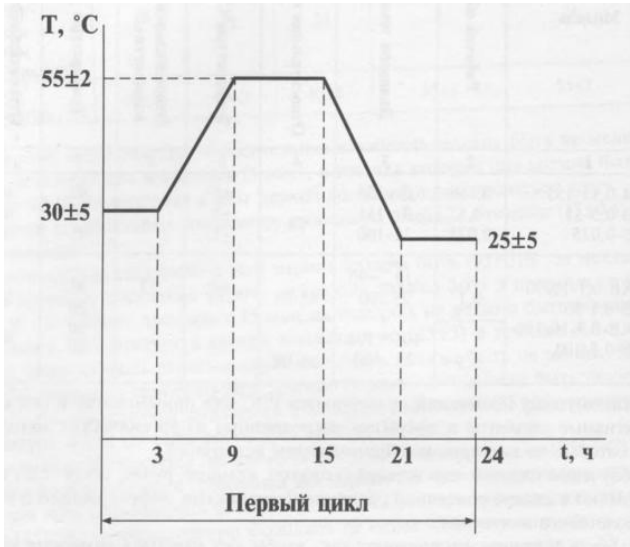


Рисунок 5.5 - Режим випробування на вплив сонячної радіації

Після закінчення випробування вироби виймають з камери і проводять їх зовнішній огляд і вимірювання параметрів, зазначених в стандартах, ТУ або ПВ. Контролю підлягають параметри, стабільність яких залежить від стану конструктивних деталей або складальних одиниць з органічних матеріалів (або мають органічні покриття) і зазнають безпосереднього опромінення.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо в процесі і після випробувань вони задовольняють вимогам, встановленим в стандартах і ТУ на вироби і ПВ для даного виду випробувань.

## 5.11 Випробування на герметичність

Герметичністю називають здатність оболонки (корпусу), окремих її елементів і з'єднань перешкоджати газовому або рідинного обміну між середовищами, розділеними цією оболонкою.

Випробування на герметичність проводять для визначення ступеня герметичності РЕЗ.

Вимоги до ступеня герметичності повинні бути визначені при розробці конструкції. Ступінь герметичності повинна характеризуватися потоком газу, витратою або наявністю витікання рідини, падінням тиску за одиницю часу, розміром та іншими величинами, наведеними до робочих умов за ГОСТ 24054-80 і ГОСТ 20.57.406-81.

Метод випробування на герметичність вибирають в залежності від призначення РЕЗ, їх конструктивно-технологічних і компонувальних особливостей, вимог до ступеня герметичності, а також економічних характеристик випробувань.

Випробування на герметичність включають в технологічний процес виготовлення РЕЗ таким чином, щоб попередні технологічні операції не приводили до випадкового перекриття течі.

При неможливості виключити випадкові перекриття течі в технологічному процесі необхідно передбачити операції, що забезпечують звільнення течі від закупорки.

Метод або програма випробувань на герметичність вказані в стандартах, ТУ або ПВ.

Залежно від роду пробного речовини методи випробування на герметичність поділяються на дві групи: **газові і рідинні**.

**До газової групи** належать такі методи випробувань: радіоактивний, манометричний, массоспектрометричний, галогенний, бульбашковий, ультразвуковий, катодометричний, хімічний, інфрачервоний, параметричний.

**До рідинної групи** належать такі методи: гідростатичний, люмінесцентний (кольоровий), електричний, параметричний.

Реалізація зазначених методів можлива наступними способами: компресійним, камерним, вакуумним, капілярним, обмилуванням, нагріванням, зовнішнім обпресуванням, обпресуванням замкнутих оболонок в камері.

Класифікація найбільш поширених методів випробування на герметичність і їх загальна характеристика наведені в додатку 2 ГОСТ 24054-80.

Метод повинен забезпечувати проведення випробувань в умовах, що відповідають вимогам діючої НТД по техніці безпеки і промислової санітарії.

Випробування герметичності РЕЗ проводять одним з наступних методів:

- перевірка на виявлення витoku рідини (гідростатичний метод);
- перевірка на виявлення витoku газу мас-спектрометром, в тому числі виробів, що мають вільні внутрішні обсяги, що представляють собою герметичні ущільнені перегородки (мас-спектрометричний, хімічний методи);
- перевірка на проникнення рідини і газу (параметричний метод);
- перевірка на виявлення витoku газу, в тому числі шляхом виявлення витoku повітря або іншого газу з внутрішніх обсягів РЕЗ при зануренні її в рідину зі знизеним тиском і при підвищеній температурі (бульбашковий, катодометричний метод);
- перевірка на виявлення витoku повітря, що подається на виріб під тиском (манометричний метод);
- перевірка шляхом проникнення парів вологи (вологісний метод).

Підготовка РЕЗ до випробувань на герметичність передбачає усунення наслідків випадкового перекриття течі після зберігання, транспортування та попередніх операцій і випробувань.

Для випробувань на герметичність необхідно використовувати обладнання, укомплектоване спеціальними пристосуваннями, установочними деталями і каліброваними течами відповідно до ТУ.

**Випробування на герметичність РЕЗ вакуумним способом бульбашкового методу проводять наступним чином.**

Виріб занурюють у ванну з індикаторної рідиною, що знаходиться всередині барокамери, яка повинна забезпечувати випробувальний режим. Кількість рідини в ванні має бути достатньою, щоб досліджувана поверхня була занурена повністю.

Температура випробувальної рідини 15...35°C, кінематична в'язкість 25 мСт при 20°C. Тиск в камері знижують до 0,1...1 кПа.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо бульбашки газу не виділяються.

**Випробування на герметичність РЕМ камерним способом манометричного методу проводять наступним чином.**

Виріб (або партію виробів) поміщають в камеру, заповнюють її пробним газом під тиском і витримують протягом певного часу, встановленого в стандартах, ТУ і ПВ. До заповнення камери гелієм знижують тиск до 0,1 кПа і витримують протягом 30 хв. при цьому тиску.

Вироби витягують з камери і витримують протягом 20 хв. за умов, що забезпечують видалення гелію, адсорбованого зовнішніми поверхнями.

Потім вироби поміщають в камеру, з'єднану з мас-спектрометром і вимірюють швидкість витоку гелію. Виміряне значення порівнюють із значенням швидкості витоку гелію, зазначеної в стандартах і ТУ або ПВ на виріб.

Вважається, що вироби витримали випробування, якщо швидкість витоку гелію менше або дорівнює значенню, зазначеному в стандартах, ТУ або ПВ на виріб.

## **6 ВИПРОБУВАННЯ РЕЗ НА БІОЛОГІЧНІ ВПЛИВИ**

Випробування на біостійкість проводять з метою визначення здатності РЕЗ зберігати в умовах впливу на них біологічних факторів, значення показників в межах, встановлених в НТД.

Біологічні зовнішні обурюючі фактори - організми або їх сполучення, які надають зовнішній впливу і викликають погіршення справності і працездатності стану виробу.

У якості збуджуючих факторів можуть бути бактерії, гриби пліснява, водорості, тварини (риби, черви, земноводні, плазуни і ссавці).

В даний час регламентується урахування наступних біофакторів: цвілевих грибів, комах, гризунів і ґрунтових мікроорганізмів. Найбільші руйнування РЕЗ виникають під дією грибкової цвілі.

### **6.1 Випробування на вплив цвілевих грибів**

Грибостійкістю називають здатність РЕЗ протистояти розвитку і руйнівній дії грибкової цвілі в середовищі.

Випробування проводять для визначення здатності виробів або їх окремих блоків і складальних одиниць протистояти розвитку грибкової цвілі.

Суть методу випробувань на стійкість до дії цвілевих грибів полягає в утриманні виробів, заражених спорами цвілевих грибів, в умовах, оптимальних для їх розвитку, з подальшою оцінкою грибостійкості.

Випробування на грибостійкість проводять на зразках, які не піддавалися кліматичним і механічним випробуванням. Число зразків встановлюють відповідно до НТД і ПВ.

Випробування проводять наступним способом.

Перед випробуванням поверхню зразків (виробів, деталей) ретельно протирають (промивають) спиртом-ректифікатом. Для протирання використовують бязь або марлю. Роботу проводять в гумових рукавичках. Потім зразки висушують, після чого витримують

в нормальних кліматичних умовах. При цьому повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість зараження зразків.

Зразки поміщають в камеру грибноутворення або в ексикатори. Антисептувані зразки (в тому числі і вироби, що містять окремі антисептуючі деталі) випробують окремо від неантисептуваних.

Разом із зразками ставлять контрольну чашку Петрі живильним середовищем для контролю життєздатності спор грибів.

Зразки, а також контрольну чашку Петрі з живильним середовищем, обприскують водною суспензією спор грибів зі скляного пульверизатора з діаметром вхідного отвору не менше 1 мм.

Випробування проводять при температурі  $29 \pm 2^\circ\text{C}$  і відносній вологості  $95 \pm 3\%$  при відсутності циркуляції повітря (допускається короткочасне перемішування повітря), зразки повинні бути захищені від дії штучного і природного світла.

Через 48 год проводять огляд контрольних чашок Петрі.

Поширення і розмноження цвілі здійснюється спорами, розмір яких не перевищує 10 мкм. Якщо на чашках не спостерігається зростання грибів з числа видів, використаних для зараження, то слід провести вторинне обприскування виробів життєздатною суспензією спор грибів.

Термін випробувань в цьому випадку слід вважати з часу вторинного обприскування. Тривалість випробувань 30 діб.

Після випробування зразки виймають з камери і піддають візуальному огляду.

Вважають, що зразки витримали випробування, якщо зростання цвілі практично не видно неозброєним оком (при 56-кратному збільшенні може спостерігатися слабе зростання міцелію і одиничне спороношення).

Ступінь біологічного обростання зразків оцінюють за 5-бальною системою:

0 - немає росту грибів; на зразках при контролі під мікроскопом при 56-кратному збільшенні не виявляється зростання грибів;

1 - дуже слабе зростання грибів; на зразках при контролі під мікроскопом при 56-кратному збільшенні спостерігаються поодинокі пророслі спори;

2 - слабе зростання грибів; на зразках при контролі під мікроскопом при 56-кратному збільшенні спостерігається слабе зростання міцелію і одиничне спороношення;

3 - помірне зростання грибів; неозброєним оком на зразках видно осередки цвілі;

4 - рясний ріст грибів; неозброєним оком видно суцільне ураження грибами поверхні зразків.

Після закінчення випробувань зразки повинні бути продезінфіковані або знищені.

Допустимі показники грибостійкості виробів в залежності від виконуваних ними функцій наведено в ГОСТ 9.048-75.

## **6.2 Випробування на стійкість матеріалів до дії комах**

**Випробування на стійкість матеріалів до дії термітів** в лабораторних умовах проводять в термостатах при температурі  $26 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , підтримуючи вологість повітря близькою до 100%.

На зразки матеріалів, що мають форму пластин розміром 40 x 80 мм, накладають смужку фільтрувального паперу так, щоб вона закривала половину поверхні зразка. Змочений водою папір є джерелом харчування і вологи.

Потім на кожен зразок встановлюють по два скляних садки і притискають їх пружинами або гумовими кільцями до зразків.

У кожен садок поміщають по 50 термітів. Для спостереження життєздатності термітів готують контрольні садки.

Після цього садки зі зразками і контрольні садки встановлюють в термостати.

Тривалість випробувань 30 діб.

Три рази в тиждень візуально враховують ступінь пошкодження термітами зразків (отвори, подряпини, розпушення і т.ін.) і замінюють загиблих термітів рівним числом життєздатних.

У природних умовах випробування на стійкість до впливу термітів проводять на дослідних майданчиках з високою щільністю термітів на 100 зразках або 20 м стрічки кожного матеріалу.

**Оцінку стійкості матеріалів до впливу молі** проводять в термостатах при температурі  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  і відносній вологості повітря  $65 \pm 8\%$  протягом 14 діб. У термостати поміщають садки зі зразками і

личинками молі. Стійкість зразків до пошкодження мілью оцінюють по втрати ними маси.

### **6.3 Випробування на стійкість матеріалів до впливу гризунів**

Для проведення випробувань виробів та матеріалів РЕЗ на стійкість до впливу гризунів використовують дорослі особи гризунів.

Перед початком випробувань їх дресирують, щоб привчити діставати їжу, долаючи перешкоду.

У якості перепон під час дресирування використовують картон товщиною 2...3 мм.

При випробуванні перешкодою служать відчувають зразки.

Клітини для проведення випробувань виготовляють з каркаса і сітчастих металевих стінок з комірками розміром не більше 5...8 мм. В середині клітини є перегородка з отвором 70 x 70 мм, яка закривається перешкодою.

Тривалість випробувань становить 24 год. Після закінчення випробувань зразки оглядають, відзначають характер пошкоджень і їх розміри.

Вважається, що зразки витримали випробування, якщо вони непошкоджені (бал 0) або на поверхні є сліди зубів гризунів у вигляді неглибоких подряпин (бал 1).

## **7 СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ**

### **7.1 Випробування на радіаційні впливи**

Принциповою особливістю проведення радіаційних випробувань РЕЗ є дистанційний контроль реєстрованих параметрів РЕЗ в процесі і після опромінення. При цьому для забезпечення дистанційного контролю застосовують спеціалізовані вимірювальні лінії, що враховують специфіку модельованого радіаційного впливу.

Типова модель організації випробувань РЕЗ на радіаційні впливи на моделюючій установці (МУ) представлена блок-схемою, що наведена на рис. 7.1.

Випробування проводять у такий спосіб.

Об'єкт випробувань розміщують в експериментальному обсязі технологічного приміщення (ТП), в якому розташовується моделююча установка. Біологічний захист необхідний для локалізації модельованих іонізуючих випромінювань усередині технологічного приміщення і забезпечення безпеки персоналу та КІА, що розміщуються в вимірювальному приміщенні.

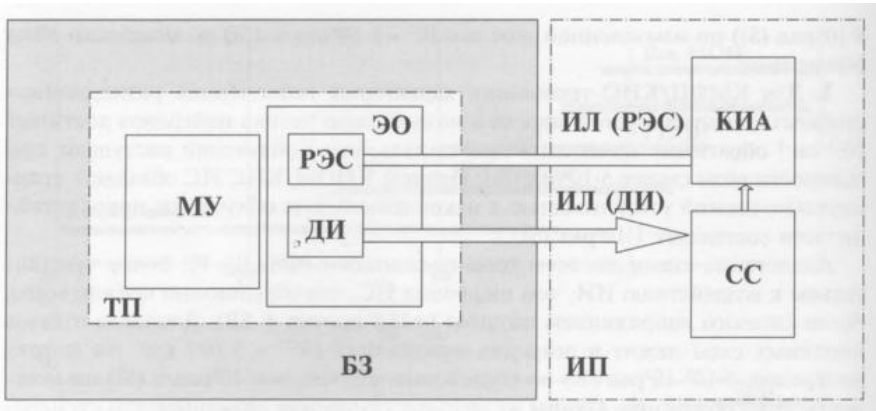
Передбачуваний рівень модельованого впливу задають за допомогою картограм полів випромінювання шляхом вибору відстані від об'єкта випробувань до вивідного вузла МУ.

Конкретне значення досягнутих при випробуваннях рівнів опромінення визначають в процесі випробувань за показниками дозиметрів, тип яких залежить від модельованого впливу. Датчики випромінювання формують електричний сигнал, що характеризує форму модельованого впливу. На імпульсних моделюючих установках цей сигнал використовується для синхронізації роботи контрольно-вимірювальної апаратури і моделюючої установки, а також для визначення потужних характеристик впливаючого фактору.

Реакція РЕЗ по вимірювальній лінії надходить для реєстрації на вимірювальні входи контрольно-вимірювальної апаратури. За допомогою КВА по вимірювальній лінії також задають необхідні електричні режими РЕЗ.

Наявність необхідного біологічного захисту технологічного обсягу обмежує мінімальну довжину вимірювальних ліній, що

особливо важливо враховувати при розробці вимірювальних методик, які повинні забезпечувати максимальну достовірність отриманих результатів.



МУ - моделююча установка;

ТП - технологічне приміщення;

ЕО - експериментальний об'єкт;

БЗ - біологічний захист;

РЕЗ - радіоелектронний пристрій;

ДІ - датчики випромінювання;

ІП - вимірювальне приміщення;

КВА - контрольно-вимірювальна апаратура;

СС - система синхронізації;

ІЛ (РЕЗ) - вимірювальна лінія РЕЗ;

ІЛ (ДІ) - вимірювальна лінія ДІ.

Рисунок 7.1 - Блок-схема організації дистанційних вимірювань при проведенні випробувань РЕЗ на МУ

Відмінною особливістю проведення випробувань на імпульсних прискорювачах є наявність супутніх електромагнітних завад досить високого рівня. Тому необхідно використовувати спеціальні методи захисту вимірювальних ліній від впливу електромагнітних наведень.

## 7.2 Спеціальні космічні випробування

### 7.2.1 Випробування на забезпечення теплового режиму РЕЗ

Космічні умови найбільш впливають на тепловий режим РЕЗ.

Метою випробувань космічної РЕЗ при відпрацюванні теплового режиму є:

- перевірка здатності РЕЗ, їх складальних одиниць і елементів в умовах реальних нестационарних градієнтів температури;
- дослідження температурних полів, що фактично формуються у відсіках і взаємовпливів температурних полів різних приладів на працездатність РЕЗ, вибір оптимальної компоновки приладів і пристроїв;
- виявлення фактичних запасів температурних допусків РЕЗ;
- перевірка ефективності роботи систем терморегулювання в умовах, що максимально наближаються до реальних;
- дослідження роботи систем терморегулювання в аварійних ситуаціях;
- визначення ресурсу РЕЗ та їх складових частин;
- дослідження температурних деформацій конструкцій РЕЗ.

При моделюванні променистих потоків на низьких орбітах слід враховувати наступні умови:

- з будь-якої точки орбіти планету видно під більшим кутом (від  $140^\circ$  до  $160^\circ$ ) і внаслідок цього висвітлюється від 94 до 99,2% поверхні апарату;
- в будь-якій точці орбіти на елементарну площадку, орієнтація якої в системі Сонце - Земля зберігається постійною, падає одна й та ж кількість променевої енергії;
- напрямок відбитих від планети сонячних променів знаходиться в межах тілесного кута, під яким видно планета;
- зміна променистого потоку відбувається для всіх точок поверхні космічного апарату одночасно;
- три складові падаючого променистого потоку (пряме сонячне випромінювання, відбите від планети, і власне інфрачервоне випромінювання планети) змінюються в часі і просторі неоднаково.

Моделювання теплового режиму РЕЗ проводиться у вакуумній камері, де встановлюються імітатори Сонця, планети і орбіту.

Для випробувань вибирається повнорозмірний космічний апарат зі штатною функціонуючою апаратурою, точно такий же, який повинен піти в політ. На РЕЗ встановлюються необхідну кількість термодатчиків, що досить повно характеризують теплове поле і датчики інших величин.

Методика випробувань передбачає наступну послідовність операцій.

Підготовлений до випробувань виріб ретельно очищають від всіляких забруднень, які можуть погіршити вакуум, після чого його встановлюють на імітаторі орбіти.

До РЕЗ підключають контрольно-вимірювальну апаратуру і перевіряють в нормальних умовах роботи бортових систем, контрольно-вимірювальної апаратури і програмно-тимчасового влаштування, що задає режим у випробувальній камері.

Запускають систему вакуумування, а після досягнення тиску приблизно 0,01 Па включають криогенну систему охолодження екранів.

За командою програмно-тимчасового влаштування, коли в камері встановиться необхідний режим випробувань, включають імітатори зовнішніх променистих потоків, імітатори орбіти і бортові РЕЗ.

Тривалість експерименту визначається умовами польоту і циклічністю роботи РЕЗ.

Параметри випробувального режиму (тиск, температура і т.д.) передаються на пульт управління за допомогою бортової телеметричної апаратури.

### **7.2.2 Випробування на роботу РЕЗ в умовах невагомості**

Випробування на вплив невагомості на РЕЗ проводять з використанням засобів для створення короточасної невагомості в лабораторних умовах: вежі скидання, падаючий ліфт, політ літака за кеплеровською траєкторією або випробувальні польоти ракети за балістичними траєкторіями для створення тривалої невагомості.

Короточасний стан невагомості досягається в **спеціально обладнаному літаку, що виконує політ за кеплеровськими**

**траєкторіями.** Якщо при швидкості 800 км/год невагомість триває 34 с, то в надзвуковому літаку - приблизно 4 хв.

Для усунення збурюючих механічних сил (наприклад вібрації) вироби і контрольно-вимірювальні прилади розміщують в «плаваючих» контейнерах, розтяжки яких відстібаються при досягненні стану невагомість.

Інший спосіб створення невагомість - **використання вертикальних башт скидання.** Оскільки створити умови вакууму для усунення сил аеродинамічного гальмування всередині вежі складно, то застосовують падаючі капсульовані контейнери, усередині яких вироби і реєструюча апаратура знаходяться у вакуумі. Перед скиданням виріб тривалий час може знаходитися в стані спокою, що буває важливо для "заспокоєння" рідких теплоносіїв.

### **7.2.3 Випробування на вплив потоків твердих частинок, сонячного вітру та різних видів випромінювання**

**Моделювання потоків твердих частинок,** при випробуванні на вплив мікрометеорів в лабораторних умовах, можна проводити за допомогою прискорювачів, що працюють на стиснутих газах; електромагнітних і водневих джерел вибухових прискорювачів, в яких використовуються кумулятивні заряди; плазмових і лазерних прискорювачах, електростатичних прискорювачах різних типів.

**Для моделювання взаємодії сонячного вітру і нестационарних потоків плазми електросфери і протосфери Землі з поверхнями матеріалів** при випробуваннях в лабораторних умовах використовуються плазмові прискорювачі, прискорювачі заряджених частинок, і високочастотний розряд.

**Особливості моделювання корпускулярного випромінювання** і його впливу на виріб при випробуванні, на відміну від радіаційних випробувань РЕЗ, наступні. Прискорювачі заряджених частинок повинні забезпечувати одночасне опромінення досліджуваних матеріалів електронами і позитивними іонами, причому електронні і протонні пучки повинні мати рівномірну щільність і дозволяти опромінювати в вакуумі поверхні до  $100 \text{ см}^2$ . Доцільно змінювати енергію частинок в широкому діапазоні і

використовувати установки з безперервним циклом прискорення частинок (прискорювачі високовольтні, електростатичні і т.ін.)

Бажано мати можливість перетворювати моноенергетичні пучки заряджених частинок в пучки із суцільним енергетичним спектром, аналогічним космічному.

#### **7.2.4 Комплексні космічні випробування**

Матеріали і блоки РЕЗ, що працюють в космічних умовах, бажано піддавати комплексному впливу факторів.

На рис. 7.2 приведена схема установки, яка дозволяє проводити випробування при спільній або роздільній дії факторів космічного простору.

До її складу входять:

- 1 - термовакуумна камера;
- 2 - прискорювач електронів;
- 3 - імітатор Сонця;
- 4 - прискорювач протонів;
- 5 - мас-спектрометр;
- 6 - вакуумний фотометр;
- 7 - криогенний насос; 8 - розрядний насос;
- 9 - вакуумна розривна машина

Обсяг камери дорівнює  $0,3 \text{ м}^3$ , вакуум створюється до  $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ , температура змінюється від  $-150$  до  $+200 \text{ }^\circ \text{C}$ .

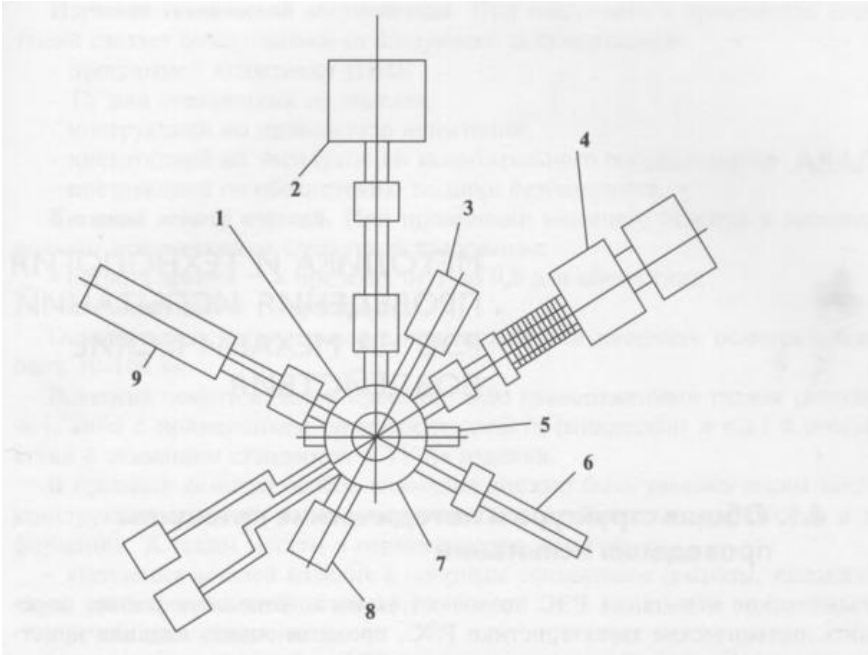


Рисунок 7.2 - Схема установки для проведення випробувань при спільному або роздільному дії факторів космічного простору

## ЛІТЕРАТУРА

1 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.

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

3 ГОСТ 16019 – 78. Радиостанции сухопутной подвижной службы. Требования по устойчивости к климатическим и механическим воздействиям и методы испытаний.

4 ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

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

6 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.

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

8 Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. / В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин и др. под ред. проф. К.Б. Карковского-Синевиича. Киев.: Вища школа, 1992

9 Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре.- М.:Сов. Радио, 1971.-344 с.

10 Карпушин В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры. - М.: Сов. радио, 1977.-320 с.