

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

В.В.Аврутов, І.В.Аврутова, В.М.Попов

Випробування при- ладів і систем. Види випробувань та сучас- не обладнання.

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ
2009

УДК 531.384
ББК

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 9 від 21.05.2009 р.)*

Рецензенти:

Осипчук С.Н., кандидат техн.наук, заступник начальника Державної установи «Держгідрографія», член академії навігації і управління рухом.
Цісарж В.В., кандидат техн.наук, генеральний директор ТОВ «ІННАЛАБС ЮА».

Аврутов В.В., Аврутова І.В., Попов В.М.

Випробування приладів і систем. Види випробувань та сучасне обладнання. Навчальний посібник – К.: НТУУ «Київський політехнічний інститут», 2009. – 64 с.: іл.

ISBN 000-000-000-0

Матеріал посібника містить загальні розділи з теорії випробувань. Розглянуто основні терміни та поняття, показано місце випробувань у життєвому циклі приладів та систем.

Розглядаються різні умови експлуатації та описуються впливи, які діють на прилади та системи.. Вводиться класифікація випробувань та згідно діючих стандартів описуються такі важливі прикладні документи, як програма випробувань та методика випробувань. Розглянуті методи та різні способи проведення випробувань.

Стосовно приладів і систем орієнтації, навігації та керування розглянуто сучасне випробувальне обладнання: поворотні стенди, центрифуги, вібростенди, віброфуги, ударні стенди, кільця Гельмгольца, стенд Скорсбі та кліматична лабораторія. На прикладі першого українського морського гірокомпасу «КРУИЗ» розглянуті методи випробувань. Приведені технічні характеристики та ілюстрації.

Навчальний посібник буде корисним для студентів навчальних закладів, які готують спеціалістів в галузях приладобудування, електроніки, радіотехніки, інформатики та обчислювальної техніки.

Іл. 24, бібліографія 20.

УДК 531.384
ББК

ISBN 000-000-000-0

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Вступ.....	6
1. Випробування як елемент життєвого циклу виробів.....	6
2. Впливи, середовище і умови експлуатації приладів та системи	9
2.1. Механічні впливи.....	11
2.2. Кліматичні впливи	13
2.3. Біологічні впливи.....	16
2.4. Спеціальні середовища.....	18
2.5. Радіаційні впливи (іонізуючі випромінювання)	18
2.6. Електромагнітні поля	18
2.7. Термічні впливи	19
2.8. Космічні впливи	19
3. Види випробувань (класифікація випробувань).....	22
3.1. За методами, умовами і місцем проведення	22
3.2. За призначенням.....	24
3.3. За стадіями життєвого циклу.....	24
3.4. За тривалістю.....	25
3.5. За рівнем проведення.....	25
3.6. За видом зовнішніх впливів	26
3.7. За результатами впливу	26
3.8. За обумовленими характеристиками об'єкта	26
4. Програма випробувань.....	29
5. Методика випробувань	31
6. Способи проведення випробувань.....	32
7. Випробувальне обладнання.....	34
7.1. Одновісні поворотні стенди (столи)	34
7.2. Двовісні поворотні стенди	37
7.3. Тривісні поворотні стенди	39
7.4. Центрифуги	41
7.5. Вібростенди	42
7.6. Віброфуги	43
7.7. Кліматична лабораторія	43
7.8. Ударні стенди	45
7.9. Кільця Гельмгольца	47
7.10. Стенд Скорсбі.....	48
ДОДАТКИ	51
Додаток 1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ПРОКОМПАСУ «КРУИЗ».....	51
Додаток 2. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ПРОКОМПАСУ «КРУИЗ».....	54
ЛІТЕРАТУРА	64

Передмова

Посібник призначений в першу чергу студентам, які навчаються на приладобудівних спеціальностях вищих технічних навчальних закладів. Матеріал навчального посібника побудований на основі лекцій з дисципліни «Випробування і контроль приладів і систем», які читаються на приладобудівному факультеті НТУУ «Київський політехнічний інститут» (спеціалізація – прилади і системи орієнтації, навігації та керування рухом у просторі). Ця дисципліна відноситься до профільюючих курсів, тому що різноманітні випробування бортових приладів (авіоніки для летальних апаратів та приладів навігації для кораблів) присутні при їх розробці, виготовленні та експлуатації. Крім того, якість та надійність бортових приладів залежать від їх випробувань.

Завдяки тому, що матеріал посібника містить загальні розділи з теорії випробувань можна стверджувати, що навчальний посібник буде корисним для студентів інших факультетів та навчальних закладів, які готують спеціалістів в галузях електроніки, радіотехніки, інформатики та обчислювальної техніки.

Навчальний посібник складається з вступу та семи розділів.

Перший розділ містить основні терміни та поняття та показує місце випробувань у життєвому циклі приладів.

Другий розділ описує впливи, які діють на прилади та системи. Розглядаються різні умови експлуатації та узагальнюється вплив різних збурень на ПСОНК.

У третьому розділі вводиться класифікація випробувань. Всього розглянуто вісім видів випробувань. Як приклади, розглянуто приймально-здавальні та періодичні випробування гіромагнітного компасу.

Четвертий, п'ятий та шостий розділи присвячені таким важливим прикладним проблемам, як програма випробувань та методика випробувань. Розглянуто методи та різні способи проведення випробувань. На прикладі першого українського морського гірокомпасу «КРУИЗ», розробленого за ідеєю автора цієї роботи на початку 90-х років, розглянуті реальні методи випробувань.

В останньому, сьомому розділі розглянуто сучасне випробувальне обладнання: поворотні стенди, центрифуги, вібростенди, віброфуги, ударні стенди, кільця Гельмгольца, стенд Скорсбі та кліматична лабораторія. Приведені технічні характеристики та ілюстрації.

Хотілось би нагадати, що першим викладачем вищезазначеного курсу на кафедрі приладів та систем орієнтації і навігації НТУУ «КПІ» був видатний викладач, канд. техн. наук, доцент та взагалі добра людина Попов В.М. Нажаль, він дуже рано пішов з життя та не встиг завершити роботу над рукописом. Інші автори підтримали «естафету» та сподіваються зберегти все найкраще, що було зроблене нашим колегою.

Автори висловлюють щирі подяку всім колегам кафедри приладів і систем орієнтації та навігації НТУУ «КПІ», особливо доцентам Бондарю П.М. та Мелешко В.В. за підтримку в роботі над рукописом.

Вступ

Останнім часом значно зростають вимоги до надійності та часу корисної роботи бортових приладів. Перевірити та покращити характеристики надійності можна за рахунок випробувань, тому значення випробувань зростає щороку. Американські вчені з лабораторії Чарльза Дрейпера ще в 60-х роках ХХ ст. помітили [1], що час витрачений на випробування гіроскопічних приладів є невід'ємною частиною загального часу використання (ресурсу приладу). Тобто, чим більше часу витрачено на випробування приладів, тим більш корисним є ресурс приладів.

З практичного досвіду у галузі радіоелектронної техніки відомо [2], що близько 40% вартості виробленої продукції припадає на її випробування. Нехтування часом випробувань призводить до проблем з її надійністю та корисним ресурсом.

Відомо, що вартість приладу (виробу) складається з його комерційної вартості (ціни), витрат на встановлення (монтаж), тестування (перевірку), регламентних робіт (обслуговування), заміни та ремонту.

Розглянемо такий приклад. На ринку існує пропозиція гіроскопів з практично однаковими технічними характеристиками і цінами: 5000 грн. та 3000 грн. Також відомо, що час, витрачений на випробування першого становить 200 годин, а другого – 50 годин. Враховуючи те, що корисний ресурс приладу залежить від часу випробування, то для розробки більш надійної системи потрібно обирати перший гіроскоп.

Розширений ресурс та більша надійність приладу компенсують витрати замовника у майбутньому на регламентних роботах та сервісному обслуговуванні приладу.

З метою підвищення надійності техніки і дослідження впливу різних факторів на її функціонування необхідно розширювати програми випробувань на різних стадіях життєвого циклу виробу.

1. Випробування як елемент життєвого циклу виробів

Спочатку розглянемо основні терміни та поняття.

Випробуванням називають експериментальне визначення кількісних та якісних характеристик об'єкта в результаті заданого на нього впливу при його функціонуванні.

Метою випробувань є визначення реального значення параметра в заданих номінальних умовах випробування. Відзначимо, що реальні умови випробувань практично завжди відрізняються від номінальних. Тому результат випробування завжди має похибку, що виникає не лише через похибку визначення шуканої характеристики, але й через не точне встановлення номінальних умов випробування.

Життєвий цикл – період часу, протягом якого відбувається сукупність взаємно пов’язаних процесів і робіт від виникнення потреби в продукції до її повного задоволення.

Відносно значної більшості приладів, життєвий цикл (ЖЦ) складається з таких стадій: розробка, серійне виробництво, експлуатація.

Випробування проводяться на кожній стадії ЖЦ виробу (рис.1).

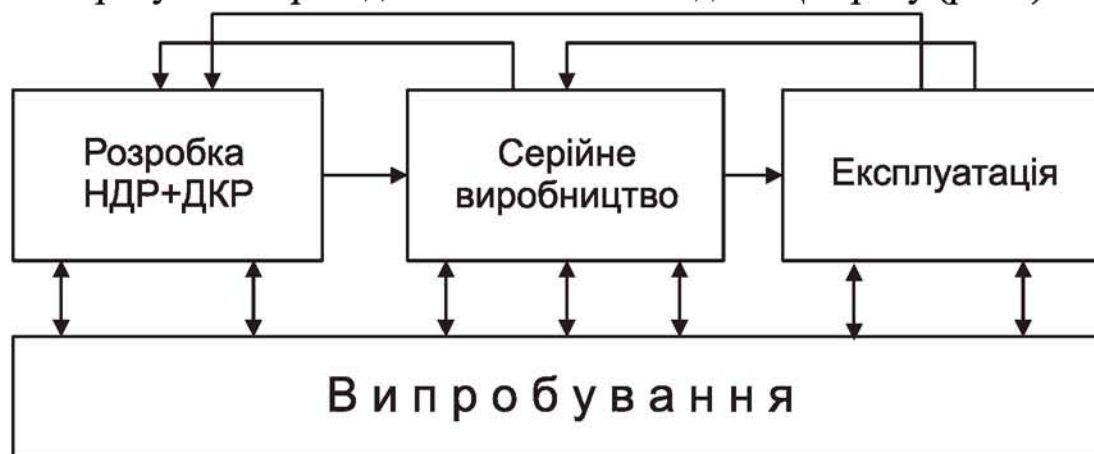


Рис.1. Місце випробувань серед стадій ЖЦ виробу

Зворотними стрілками на рис.1 відзначено необхідний і важливий для розробника облік досвіду виготовлення та експлуатації виробу.

Розробка починається зі складання організацією-замовником технічного завдання (ТЗ) і закінчується передачею організацією-розробником оригіналів повного комплексу конструкторської документації виробничому підприємству, на якому передбачається здійснити серійний випуск виробу.

Розробкою зайняті науково-дослідні інститути (НДІ), конструкторське бюро (КБ) і науково-технічні комплекси (НТК).

Приклади:

- 1) ЦКБ заводу «Арсенал» - розробка та виробництво наземних гірокомпасів, оптоелектронних та оптичних приладів;
- 2) Авіаційний науково-технічний комплекс (АНТК) ім. Антонова – повний комплекс робіт літакобудування .

Для всіх галузей промисловості ГОСТ 2.102-68 і ГОСТ 2.103-68 ЄСКД регламентують розподіл процесу розробки на 5 етапів у наступному порядку виконання:

технічне завдання (ТЗ)	НДР
технічна пропозиція (ТПр)	
ескізний проект (ЕП)	ДКР
технічний проект (ТП)	
розробка робочої документації (РРД)	

Стадії розробки традиційно групують в етапи . Стадії технічного завдання й технічної пропозиції, у яких переважає науково-дослідна робота (НДР), називають етапом НДР, а інші - етапом дослідно-конструкторської розробки (ДКР).

На етапі НДР випробування проводяться у вигляді наукових експериментів по перевірці й дослідженню фізичних принципів системи, що розробляється.

На етапі ДКР (ЕП і ТП) проводяться дослідницькі випробування лабораторних макетів. Їхня ціль - дослідження можливості й перспективності напрямку робіт.

На стадії РРД проводиться цикл натурних випробувань дослідних зразків, за результатами яких проводиться коректування й доведення робочої конструкторської документації.

Ці випробування можна назвати доводочними й приймальними.

Завдання випробувань на стадії розробки:

- 1) оцінити ступінь досконалості нових практичних рішень;
- 2) виявити помилки, допущені при проектуванні й виготовленні зразків
- 3) уточнити деякі характеристики (умови) експлуатації;
- 4) порівняти варіанти конструкцій, схем виробів одного й того ж функціонального призначення;
- 5) відпрацювати й довести дослідні вироби до заданих параметрів;
- 6) підготувати й доопрацювати документацію.

У процесі серійного виробництва проводяться заводські випробування для контролю якості виготовлення системи в умовах налагодженого серійного виробництва. Заводські випробування можна розділити на кваліфікаційні, пред'явницькі, приймально-здавальні, періодичні, інспекційні, типові, атестаційні й сертифікаційні.

Завдання випробувань на стадії серійного виробництва:

- 1) оцінка технічного рівня виготовлення продукції;
- 2) перевірка ефективності доопрацювання;
- 3) попередня оцінка показників надійності.

У процесі експлуатації проводяться контрольні випробування для контролю поточного стану системи в реальних експлуатаційних умовах.

Завдання випробувань на стадії експлуатації:

- 1) оцінка дійсних показників якості;
- 2) перевірка обґрунтованості претензій споживача;
- 3) перевірка відповідності умов експлуатації умовам, встановленим у документації;
- 4) остаточне доопрацювання експлуатаційної документації;
- 5) підготовка рекомендацій для підвищення стабільності показників.

Випробування проводять за встановленими методами (програмами) на атестованому устаткуванні.

Програма випробувань (ПВ) визначає послідовність і час дії зовнішніх впливів, параметри цих впливів, а також параметри виробів, що підлягають контролю до і після випробувань.

Докладніше про ПВ див. у п.4.

Контрольні запитання:

1. Що називається випробуванням?
2. На яких стадіях життєвого циклу виробу проводяться випробування?
3. Які завдання випробувань на стадії розробки виробу?
4. Які завдання випробувань на стадії серійного виробництва виробу?
5. Які завдання випробувань на стадії експлуатації виробу?

2. Впливи, середовище і умови експлуатації приладів та системи

Впливи – явища, процеси, об'єкти будь-якої природи, які діють або можуть впливати на функціонування, стан і якість об'єкта на всьому його ЖЦ, представлені сукупністю величин, навантажень, факторів, що служать джерелом кількісної і якісної інформації про властивості середовища, розглянуті в часі й просторі й такі, що піддаються вимірюванню і розрахунку.

Середовище – безліч елементів, що існують поза системою і впливають на систему.

По розташуванню середовище поділяється на дві частини:

- зовнішнє (навколишнє) - частина середовища, що існує поза виробом;
- внутрішнє - частина середовища, що існує усередині виробу; сукупність внутрішніх впливів.

Класифікація впливів. Всі впливи можна розділити на зовнішні й внутрішні.

Зовнішні впливи не пов'язані з режимом експлуатації виробу і визначаються умовами зберігання, транспортування й експлуатації .

Внутрішні впливи визначаються режимами роботи виробу .

Під **умовами експлуатації** розуміють сукупність зовнішніх і внутрішніх впливів, що впливають на працездатність виробів.

Згідно нормативно-технічної документації (НТД) ГОСТ 21.964-76-«Внешние воздействующие факторы. Классификация. Номенклатура. Характеристики» впливи розділяють на класи:

- 1) Механічні;
- 2) Кліматичні;
- 3) Біологічні;
- 4) Спеціальні середовища;

- 5) Радіаційні;
- 6) Електромагнітні ;
- 7) Термічні.

Останнім часом виділяють новий клас –8) космічні впливи.

Класифікація факторів впливу.

Кожен вид впливу характеризується своїм набором факторів. Наприклад, для кліматичних впливів це температура, вологість, тиск, швидкість вітру й т.д.

Всі фактори впливу за походженням розділяють на дві групи (рис.2):

- об'єктивні ;
- суб'єктивні.

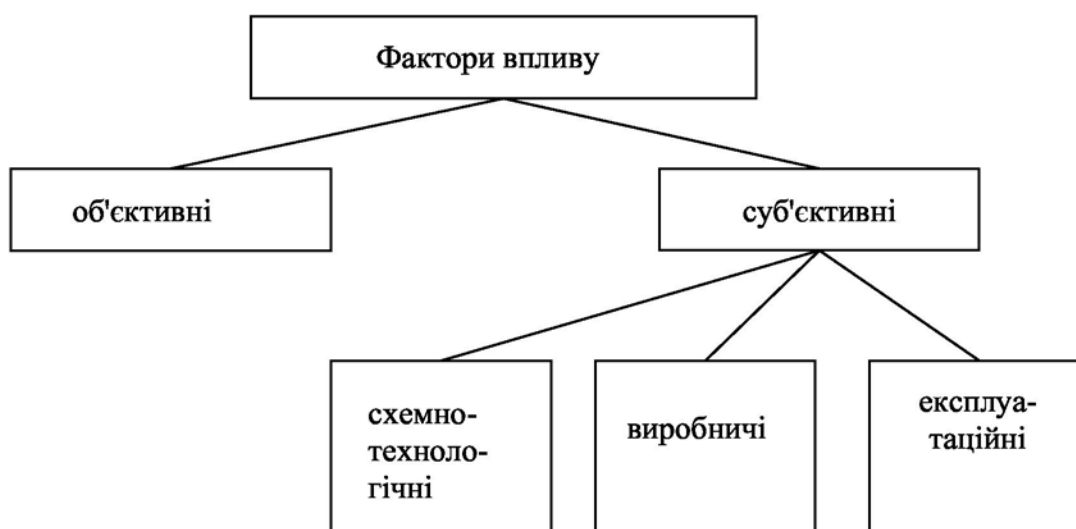


Рис.2. Види факторів впливу

Об'єктивні фактори характеризуються зовнішніми впливами, в умовах яких відбувається зберігання, транспортування й експлуатація виробу.

Наприклад, поверхня виробу, що рухається з великою швидкістю в умовах важких метеорологічних умов (дощ, сніг, заметіль, шторм, пилова буря), стикається з нейтральними частками й електризується. Нейтральні частки набувають позитивного заряду, а поверхня виробу - негативного. Виникаючий на поверхні заряд пропорційний кубу швидкості відносного руху часток і виробу. При напруженості поля накопиченого електричного заряду 450..600 В/см виникає «коронний» розряд в атмосферу. Завдяки чому може виникнути електричний сигнал електронного пристрою, який викликає відмову виробу.

Теплові впливи в різних умовах застосування виробу проявляються як перепади температур. Різкому перепаду температур піддаються вироби, розташовані на об'єктах, що досить швидко переміщуються по вертикалі (літальні апарати, батискафи, глибинні бури й ін.). За короткий проміжок часу температура виробу, встановленого на літаку поза герметизованого

об'єму, може знижуватися від $+50$ до -40°C (набір висоти), а потім підвищуватися від -40 до $+100^{\circ}\text{C}$ (пікірування). При цьому одночасно змінюються вологість і тиск.

Суб'єктивні фактори залежать від діяльності людини на всіх етапах ЖЦ виробу (розробка, виробництво й експлуатація). Результатом впливу цих факторів є помилки проектування, виробництва й експлуатації, що призводять до дефектів виробів, які при впливі об'єктивних факторів призводять до часткової або повної втрати працездатності виробу.

До помилок проектування відносяться недоліки електричних і функціональних схем і конструктивно-технологічних рішень, переоцінка можливостей операторів, що обслуговують спроектовані вироби й недостатньо ефективна система контролю.

Помилки виробництва обумовлені порушеннями технологічних процесів (ТП), застосуванням неякісних комплектуючих елементів і матеріалів, відсутністю твердого контролю на стадіях виробництва.

Помилки експлуатації пов'язані в основному з порушеннями обслуговуючим персоналом експлуатаційних вимог, передбачених відповідними нормативно-технічними документами (НТД) на виріб.

Вплив об'єктивних і суб'єктивних факторів на працездатність виробу істотно відрізняється. Через наявність суб'єктивних факторів знижується стійкість розроблених виробів до впливу об'єктивних факторів, у результаті чого знижується якість і надійність виробу. Негативні наслідки впливу суб'єктивних факторів, як правило, приховані від розробників і виробників конкретних виробів. Для їхнього виявлення на всіх етапах ЖЦ застосовують різні види випробувань та контролю.

2.1. Механічні впливи

Механічні впливи поділяються на дві групи: статичні й динамічні.

Статичні впливи підрозділяють на розтягування, стиснення, згинання, крутіння, зріз, вдавлювання.

Динамічні впливи підрозділяються на вібраційні, ударні, лінійні постійні прискорення, акустичний шум.

Найпоширені фактори динамічного механічного впливу - вібраційні навантаження. Виникаючі при вібраціях інерційні сили можуть викликати напруження, що перевищують межі міцності й витривалості конструкції. Інтенсивність впливу вібрації характеризується частотою й амплітудою коливання, а також величиною максимального прискорення. Вібрації являють собою механічні коливання в діапазоні частот $0,1 - 20\,000$ Гц і більше, амплітуд переміщень $0,001$ мкм - 1000 мм і більше, амплітуд прискорень до 1000 м/с² і більше. Більша частина коливань, що зустрічаються на практиці, має форму викривленої синусоїди.

Вібраційні навантаження, що створюються різним енергетичним устаткуванням, а також незбалансованими частинами машин, що оберта-

ються та переміщуються, викликають руйнування конструкції усталеного характеру, виводять із ладу кріпильні устаткування, викликають коротке замикання й обриви електричних ланцюгів, приводять до порушення герметизації блоків.

Залежно від величини й виду вібраційних навантажень установлюють ступінь жорсткості виробу й проводять випробування на віброміцність, вібростійкість і виявлення резонансів конструкції. При випробуваннях на вплив вібрації використовують синусоїдальну, випадкову широкосмугову або попередньо виміряну на прототипі вібрацію.

До параметрів лінійної вібрації відносяться переміщення, швидкість, прискорення, різкість (третя похідна переміщення за часом), сила, потужність. До параметрів кутової вібрації відносяться кут повороту, кутова швидкість, кутове прискорення, кутова різкість, момент сил. До параметрів обох видів вібрацій відносять також фазу, частоту й коефіцієнт нелінійних спотворень. Характер вібрацій як за частотою, так і за амплітудою, може значно змінюватися в залежності від типу конструкції, умов експлуатації виробів, інших факторів. Найбільша небезпека - сукупність коливань, що виникає на резонансних частотах пружних конструкцій.

Ударні навантаження також часто зустрічаються при експлуатації сучасних машин і приладів. Механічні удари можуть бути одиночними, багаторазовими й комплексними. Одиночні й багаторазові ударні процеси можуть впливати на об'єкт у горизонтальній, вертикальній і похилій площинах. Комплексні ударні навантаження впливають на об'єкт у двох або трьох взаємно перпендикулярних площинах одночасно. Ударні навантаження виробів можуть бути як неперіодичними, так і періодичними. Виникнення ударних навантажень пов'язане з різкою зміною прискорення, швидкості або напрями переміщення виробів.

Так, наприклад, прилади, встановлені на стратегічних ракетах з прямоточним гіперзвуковим атмосферним двигуном для активного проходження систем противоракетної оборони, розраховані на вплив практично всіх збурень і, зокрема, вібрацій та ударних навантажень.

Найчастіше в реальних умовах зустрічається складний одиночний ударний процес, що представляє собою сполучення простого ударного імпульсу з накладеними коливаннями. Основними параметрами ударного процесу є прискорення, переміщення, швидкість, деформація точки тіла, що розглядається при ударному впливові. Важливе значення має форма ударного імпульсу. У виробках, що отримали удар, збуджуються швидко згасаючі власні коливання. Величина перевантаження при ударі, характер і швидкість поширення напружень виробу визначаються силою й тривалістю удару й характером зміни прискорення. Удар, впливаючи на матеріал і виріб, може приводити до його механічного руйнування.

Випробування проводять шляхом одиночного й багаторазового ударів, визначаючи стійкість і механічну міцність виробу до них. Випробу-

вання на ударну міцність і ударну стійкість рекомендується сполучати. Тривалість ударних імпульсів 1мс-1000 мс і більше, амплітуда прискорень $1-10^6$ м/с² і вище.

Акустичний шум – у більшості випадків фактор, що заважає, також може впливати на здатність виробу виконувати свої функції. Найпоширеніші частоти шуму 125 – 10000 Гц, максимальний рівень звукового тиску 200 дБ і більше. Для дослідження впливу на вироби зміни частоти шуму проводять відповідні випробування тоном частоти, що змінюється від 125 до 10000 Гц. Механізм руйнівного впливу звукового тиску аналогічний руйнівному впливу вібрації.

2.2. Кліматичні впливи

Кліматичні впливи характеризуються впливом наступних факторів:

- температура;
- вологість;
- домішки в повітрі;
- сонячне випромінювання;
- атмосферний тиск.

Температура – один з найбільш важливих кліматичних факторів. Для різних кліматичних поясів Землі вона коливається від -75 до +50°C. Однак велика кількість виробів працює в умовах нагрівання (до 500°C і вище) або охолодження (-100°C і нижче) їхніх елементів. Тепловий вплив може бути стаціонарним, періодичним і неперіодичним. Сталий режим теплообміну як усередині виробу, так і виробу із зовнішнім середовищем створює стаціонарний тепловий вплив. Періодичний тепловий вплив утвориться при повторно-короткочасній роботі виробів, добовій зміні температури навколишнього середовища, регулярному сонячному опроміненні й т.д. Неперіодичний тепловий вплив викликається одиничними або порівняно рідкими випадковими діями тепла й холоду.

Зміна температури навколишнього середовища може змінити фізико-хімічні й механічні властивості матеріалів.

При підвищенні температури прискорюється розвиток деяких дефектів у матеріалах, що знижують міцність з'єднань і конструкцій, що погіршують функціональні й електричні характеристики виробів. При одночасному впливі тепла і механічних навантажень багато матеріалів легко деформуються. У ряду матеріалів при нагріванні прискорюється старіння, що призводить до зміни їхніх характеристик.

У зонах з холодним кліматом можуть бути різкі коливання температури виробів, викликані їх нагріванням у період роботи й охолодження після вимикання. При різкій зміні навколишньої температури на поверхні й усередині виробу конденсується волога. Періодичні розширення й стискування дотичних металевих і пластмасових деталей можуть викликати по-

рушення герметичності виробу й руйнування деталей. Різкі коливання температури приводять до руйнування паяних, зварених, клепаних і інших з'єднань, відшаруванню й розтріскуванню покриттів, появи витоку наповнювачів.

Вологість - один з найнебезпечніших кліматичних факторів. Вона прискорює корозію матеріалів, змінює електричні характеристики діелектриків, викликає тепловий розпад матеріалів, гідроліз, ріст цвілі й багато інших механічних ушкоджень виробів.

Абсолютна вологість-кількість водяних пар (г) в 1 м³ повітря. Вона не змінюється при підвищенні температури.

Максимальна вологість – максимальна кількість (г) водяних пар, що може втримуватися в 1 м³ повітря. Вона залежить від температури, тому що тиск пари при кожній температурі має свій максимум. Максимальна вологість змінюється на 7% при зміні температури на 1°C.

Відносна вологість показує, скільки відсотків максимально можливої вологості фактично перебуває в повітрі.

Для більшості процесів відносну вологість якісно оцінюють по наступній шкалі: до 100% - дуже волого; 80% - волого; 60-70% - нормально; 40-50% - сухо; 30% - дуже сухо.

Зміна вологості повітря може приводити до зміни фізико-механічних і хімічних властивостей матеріалів.

При роботі виробу у вологій атмосфері волога обволікає його зовні і проникає всередину. Проникнення вологи у виріб супроводжується корозією матеріалів, зміною розмірів деталей, елементів конструкції й вузлів, викривленням деталей, зниженням механічної міцності деталей і виробу в цілому.

Водяна плівка на поверхні деталей і матеріалів швидко забруднюється й іонізується, внаслідок чого збільшується її провідність. Проводячи електричний струм, плівка закорочує між собою контакти, сприяє появі струмів витоку, може призвести до коротких замикань в електричних ланцюгах і зруйнувати внутрішньосхемну розводку в напівпровідникових приладах.

Внаслідок високої діелектричної постійної води при роботі електричних і радіоелектронних пристроїв у вологій атмосфері виникає ємнісний ефект, що проявляється в зміні опору ізоляційних матеріалів, індуктивності і ємності, коефіцієнта розсіювання й добротності, а також у зменшенні пробивної напруги.

Підвищення вологості навколишнього повітря викликає зменшення коефіцієнта підсилення напівпровідникових пристроїв. Збільшуються втрати електромагнітної енергії внаслідок збільшення її поглинання парами повітря.

Якщо температура падає нижче точки роси, при якій абсолютна вологість дорівнює 100% і водяна пара, що утримується в повітрі, досягає стану насичення, то випадають опади у вигляді води, снігу, роси, інею, туману.

ну. Кількість опадів вимірюють у міліметрах. Опадам в 1мм відповідає 1л води, розподілений на поверхні 1м². Сніг, що тільки-но випав, займає приблизно десятикратний об'єм, 1см снігу відповідає приблизно 1мм опадів. Опади впливають своєю механічною енергією, знижують температуру виробів, підвищують вологість.

Наявність опадів і туману звичайно погіршує умови роботи виробів. Опади й туман діють на матеріали й вироби так само, як підвищена вологість повітря.

Волога, що залишилася на виробі після дощу, може сприяти корозії металів, тому що в дощовій воді втримується деяка кількість розчинених кислот і солей. Особливо сильний руйнівний вплив на вироби можуть робити морська вода й морський туман, що різко прискорює корозію внаслідок солей, що утримуються в них, хлору, магнію й інших елементів.

Туман із крапельками морської води також підсилює корозію металів і може погіршити електричні властивості ізоляційних матеріалів.

Домішки в повітрі – у вигляді піску, пилу, диму й промислових газів також є факторами впливу, які необхідно враховувати при експлуатації виробів.

Пил - суміш твердих часток у повітрі. Природний пил складається з космічної й земної частин. У вільну атмосферу осаджується 120-150 мм пилу за 100 років. Технічний пил утвориться при спалюванні палива, зношуванні й обробці деталей. Технічного пилу у високорозвинених країнах осаджується на два порядки більше, ніж природного. Серйозну проблему представляють для більших міст димові гази, що містять у порівняно більших кількостях сірку, з якої утворюються в підсумку сірчиста й сірчана кислоти, сполуки фтору, аміак, ціаністий водень, пари ртуті й інші активні шкідливі хімічні сполуки.

Домішки в повітрі можуть викликати порушення функціонування електричних елементів, змінювати режими теплообміну, викликати механічні ушкодження (пил, пісок), підсилювати корозійні процеси й т.і.

Сонячне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі з довжинами 0,2-5мкм. На ультрафіолетовий діапазон (довжина хвилі до 0,4мкм) припадає 9% енергії, на видимий діапазон (довжина хвилі 0,4-0,7мкм)- 41% і на інфрачервоний діапазон із довжинами хвиль більше 0,72мкм -50% сонячної енергії. Вплив сонячного випромінювання на виріб полягає в хімічному розкладанні деяких органічних матеріалів. Найбільший вплив спричиняють ультрафіолетові промені, які мають високу енергію. Під дією цих променів відбувається поверхневе окислювання матеріалів, часткове розкладання полімерів, що містять хлор, розщеплення органічних молекул, швидке старіння пластмас, зміна найважливіших органічних компонентів і кольору в деяких типів термореактивних пластмас, утворення кірки на поверхні гуми і її розтріскування.

Від дії сонячних променів вироби нагріваються, внаслідок чого спостерігається зміна форми або всихання деяких деталей.

Атмосферний тиск створюється масою повітря, що лежить у даному місці. Коливання атмосферного тиску внаслідок зміни погоди сягають 7%, а при тропічних бурях перевищують 10%. Ряд виробів по своєму функціональному призначенню може працювати в умовах різко підвищеного й різко зниженого атмосферного тиску, що варто враховувати при проведенні відповідних випробувань. Зміна тиску викликає небезпеку пробоїв повітряних проміжків електричних установок у зв'язку зі зміною діелектричної проникності повітря, може змінювати діаграму спрямованості й потужність випромінювання електромагнітних антен, впливає на режим теплообміну виробу, порушує в ряді випадків герметичність виробів і розташування рухомих деталей.

Як і механічні, кліматичні фактори впливу на практиці в більшості випадків діють одночасно, що викликає посилення їхнього руйнуючого ефекту. Ступінь зміни параметрів виробу тим значніше, чим більша кількість кліматичних факторів, що впливають, вище їхня ефективність і час впливу.

2.3. Біологічні впливи

Сучасні прилади неможливо уявити без мікроелектронних пристроїв (мікромеханічні акселерометри й гіроскопи, мікроконтролери і т.і.). Найближчим часом будуть проектуватися прилади з використанням нанотехнологій. На мікро й нано- рівнях на чутливі елементи приладів і електронні засоби значно впливають біологічні впливи (фактори). Практика показує, що 50-80% ушкоджень електронних засобів викликано біологічними впливами [2].

Біологічні впливи визначаються сукупністю біологічних факторів.

Біологічний фактор (скорочено біофактор) - це організми або їхні групи, що викликають порушення працездатного стану об'єкта.

Біологічним ушкодженням (біоушкодженням) називають подію, що складається у виході якого-небудь параметра виробу під дією біофактора за межі, зазначені в НТД.

Види біоушкоджень:

- Механічне руйнування при контакті організмів з виробом;
- Погіршення експлуатаційних параметрів;
- Біохімічне руйнування;
- Біокорозія.

Механічне руйнування викликається в основному макроорганізмами (організми, що мають розміри відносні з габаритами виробів). Руйнування при контакті може відбутися в результаті зіткнення (наприклад зіткнення

птахів з літаками й антенами радіолокаційних станцій), uszkodження матеріалів пацюками, мишами, знищення виробів термітами і мурахами.

Погіршення експлуатаційних параметрів викликається біозабрудненням, біозасміченням і біообрастанням. Біозабруднення викликано продуктами життєдіяльності організмів. При змочуванні водою або усмоктуванні вологи з повітря це призводить до зміни параметрів виробів. Біозасмічення пов'язане з наявністю спор грибів і бактерій, насіння рослин, частин міцелію грибів, посліду птахів, виділень організмів, відмерлих організмів. Обростання бактеріями, грибами, водоростями, губками, молюсками та іншими організмами поверхонь виробів підсилює корозію металів.

Біохімічне руйнування викликається мікроорганізмами. Цей вид руйнувань розділяють на два підвиди:

- біологічне споживання матеріалів у процесі живлення мікроорганізмів;

- хімічний вплив речовин, що виділяються при цьому.

Біокорозія - фізико-хімічна корозія на границі матеріал-організм, викликана впливом аміно- і органічних кислот, а також продуктів гідролізу (електрохімічний процес корозії металів).

У великій мірі бактерії та цвілеві гриби впливають на надійність і працездатність виробів, причому найбільше існує грибкових утворень, які відносяться до нижчих рослин, що не мають фотосинтезу. Оптимальними умовами розвитку цвілевих грибків є відносна вологість повітря більше 85%, температура +20 - +30°C і застій повітря. Найбільші руйнування пластмас, дерева, гуми й шкіри виникають під дією цвілі. Цвіль утворює на поверхні матеріалу водну плівку, що сприяє його хімічному розкладанню й втраті найважливіших властивостей.

Всередині закритих або напіввідчинених виробів часто створюють спеціальний мікроклімат. У багатьох випадках це сприяє ураженню виробів цвілевими грибками.

Іншим видом біологічного впливу є комахи, особливо терміти. Ненажерливість термітів робить їх одними з найнебезпечніших комах для устаткування.

Певну небезпеку для виробів, особливо кабелів і дротів, можуть представляти гризуни - пацюки й миші. Вони можуть ушкоджувати ізоляційні матеріали, кабелі, дроти й несучі конструкції, в результаті чого електротехнічні й радіоелектронні вироби можуть виходити з ладу.

Захист від біологічних факторів впливу здійснюють хімічними і конструктивними методами; хімічні отрути й покриття використовують для захисту від цвілевих грибків і комах. Однак найбільш ефективний захист за допомогою конструктивних заходів шляхом зміни внутрішнього клімату пристрою, зменшення відносної вологості повітря, створення більш надійних захисних оболонок, заміни матеріалів.

2.4. Спеціальні середовища

До спеціальних середовищ відносять пари хімічних речовин, хімічні розчини (дезінфікуючі, дезактивуючі, що дегазують), кислоти, гази й інші речовини, у присутності яких можуть працювати вироби. Вироби, призначені для роботи в спеціальних середовищах, повинні мати підвищену стійкість до впливу цих середовищ, і для перевірки її проводяться відповідні випробування.

2.5. Радіаційні впливи (іонізуючі випромінювання)

Сучасні вироби, особливо вироби космічної і ядерної техніки, піддаються впливу іонізуючих випромінювань, що створюють при взаємодії з речовиною заряджені атоми й молекули - іони. Гамма-випромінювання, нейтронне, електронне, протонне випромінювання, а також альфа-частинки можуть викликати ушкодження. Найбільшу небезпеку представляють потік нейтронів і гамма-випромінювання, вплив яких підсилюється залежно від їхньої інтенсивності й часу впливу. Безперервна проникаюча радіація викликає поступову необоротну зміну електричних, механічних, хімічних і інших властивостей матеріалів. Імпульсна радіація, що діє короткий час (10^{-7} - 10^{-3} с), призводить до незворотних змін електрофізичних властивостей виробу, а також через велику щільність, створеної іонізації, може викликати й зворотні зміни електричних характеристик виробів і матеріалів.

Зміна хімічних, механічних, електричних й інших властивостей матеріалів і виробів в умовах впливу іонізуючих випромінювань вимагає створення спеціальної іспитової техніки, застосування спеціалізованої радіаційної технології й інших заходів.

2.6. Електромагнітні поля

Одним з видів зовнішнього впливу є також сильні електромагнітні поля, які можуть викликати зміни режимів роботи електронної апаратури. Ці поля створюються спеціальними випромінювачами, наприклад, радіолокаційними станціями, електричними генераторами, зварювальними апаратами й т.і. Необхідно враховувати вплив сильних електромагнітних полів при створенні й експлуатації радіотехнічних пристроїв, застосовувати відповідні екранні пристосування.

Приклад: електромагнітна сумісність (ЕМС) виробів. Після монтажу на київській телевежі антен мобільного зв'язку, на взльотно-посадочній смузі АНТК ім. Антонова утворилися «сліпі» зони з відсутнім радіозв'язком між кабіною літака й диспетчерською службою.

2.7. Термічні впливи

Термічні впливи можна поділити на тепловий удар та нагрів. Тепловий удар – це різкий однократний температурний вплив.

Нагрів за своїм походженням можна виділити на чотири групи:

- тертя;
- аеродинамічний;
- тепловий потік;
- полум'я як результат горіння.

2.8. Космічні впливи

Космічні впливи характеризуються наступними факторами: електромагнітними й корпускулярними випромінюваннями (радіаційні пояси Землі - стабільні області скупчення заряджених часток - електронів, протонів, α - часток і ядер більш важких хімічних елементів);

- глибоким вакуумом;
- променистими тепловими потоками;
- невагомністю;
- метеорними частками;
- магнітними й гравітаційними полями планет і зірок.

Ті самі впливи по різному впливають на різні об'єкти. У реальних умовах на вироби впливають спільно кілька факторів. При цьому можуть бути виділені такі ефекти:

- взаємопослаблюючий вплив факторів одного на інший;
- взаємопідсилюючий вплив факторів одного на інший;
- несумісний вплив.

Практика показує, що в більшості випадків вироби й матеріали відчують комплекс механічних, кліматичних, біологічних і інших зовнішніх впливів. Ці впливи взаємно зв'язані один з одним і необхідно досліджувати результуючий ефект від їхнього спільного впливу на матеріали й вироби. Це найбільш важке завдання і воно повинно також моделюватися на іспитовому устаткуванні.

Параметри впливів: амплітуда, частота, фаза, спектр (амплітуди й частоти), тривалість, діапазони, точність завдання, одно - і багатомірні умовні й безумовні щільності розподілу, математичне очікування, дисперсія, СКО та ін.

У табл.1 показано узагальнений вплив дестабілізуючих факторів на матеріали та конструктивні елементи приладів та систем.

Таблиця 1 - Вплив дестабілізуючих факторів на елементи приладів та систем

Вплив	Основні процеси	Можливі результати
-------	-----------------	--------------------

Вібрація	Механічні напруги, усталені зміни	Втрата механічної міцності, нестійке функціонування, прискорення зношування, руйнування - тобто зниження конструктивної надійності. Інформаційна надійність (точність приладу або системи) також знижується
Удари, лінійні прискорення	Механічні напруги	Руйнування, зниження конструктивної й інформаційної надійності
Висока температура	Хімічні реакції Розм'якшення, плавлення, сублімація (сублімація) - перехід із твердого стану тіла в газоподібне, минаючи рідку фазу стану)	Зміна фізико-механічних і електричних властивостей, нестабільність параметрів
Низька температура	Утворення льоду Корозія, лінійний тиск, крихкість	Втрата механічної міцності, розвиток тріщин, руйнування елементів, зношування, зміна електричних властивостей
Термоудар	Механічні напруги	Нестабільність, деградація параметрів, обриви, коротке замикання, втрата герметичності
Висока вологість	Поглинання вологи, корозія, електроліз	Спучення, набрякання, зниження електричної міцності, нестійкість параметрів, втрата герметичності, ушкодження покриттів
Низький тиск	Знегажування (виділення газів), збільшення габаритних розмірів	Розтріскування, підривне руйнування
Сонячна радіація	Фотохімічні й фізико-хімічні реакції	Руйнування поверхні; зміна електричних властивостей; утворення озону
Пісок і пил	Стирання Засмічення	Прискорення зношування; нестійкість функціональних параметрів Зміна електричних властивостей
Соляний туман	Корозія Електроліз	Прискорення зношування; втрата механічної міцності; зміна електричних властивостей; Руйнування поверхні; збільшення провідності
Вплив часток з	Нагрівання	Старіння матеріалів

високими рівнями енергії (ядерна реакція)	Ядерні перетворення	Зміна хімічних, фізичних і електричних властивостей; утворення газів
Невагомість	Відсутність конвекційного охолодження	Посилення явищ, які спостерігались при високих температурах
Агресивні середовища	Хімічні реакції Розтріскування; поява крихкості Зниження електричної міцності повітря	Зміна електричних властивостей; нестійкість функціональних параметрів Втрата механічної міцності Пробій ізоляції й утворення дуги

Умови експлуатації (УЕ) - сукупність зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на функціонування й працездатність виробів.

Відповідно до діапазону й ступенем впливу факторів УЕ поділяються на

- **Нормальні умови (НУ)** :

- температура $+25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск 750 ± 30 мм. рт. ст.;
- відносна вологість $65 \pm 15\%$.

НУ - значення сукупності факторів, установлених НТД як номінальні; у таких умовах похибки приладів близькі до необхідних, які можуть бути визначені й гарантуватися. Ці умови є базою, відносно якої виявляються зміни властивостей виробу в інших умовах.

- **Робочі умови** – сукупність факторів, межі яких нормують (регламентують, гарантують) характеристики показників якості виробів, зазначених у ТУ й іншій НТД.

- **Граничні умови** характеризують екстремальні значення факторів, за яких вироби витримують навантаження без руйнування й погіршення якості.

Контрольні запитання:

- 1) Назвіть основні класи впливів.
- 2) Якими факторами характеризуються кліматичні впливи?
- 3) На які впливи підрозділяються механічні динамічні збурення?
- 4) До чого приводять біологічні впливи?
- 5) Назвіть параметри нормальних умов експлуатації.

3. Види випробувань (класифікація випробувань)

Всі випробування розділяють на вісім груп:

- 1) За методами, умовами і місцем проведення;
- 2) За призначенням;
- 3) За стадіями ЖЦ;
- 4) За тривалістю;
- 5) За рівнем проведення;
- 6) За видом впливу;
- 7) За результатами впливу;
- 8) За обумовленими характеристиками;

3.1. За методами, умовами і місцем проведення

Випробування підрозділяють на дві більші підгрупи:

- фізичні випробування реальних виробів або їхніх макетів;
- випробування з використанням моделей.

Фізичні випробування можуть проводитися

- на випробувальних стендах (**стендові випробування**), коли зовнішні фактори, що впливають (ЗВФ) створюються штучним шляхом; Випробувальний стенд - технічний пристрій для установки виробу в заданих положеннях, створення впливів, знімання інформації й керування процесом випробувань. Випробувальні стенди можуть випускатися серійно або створюватися в одиничному екземплярі.

Сучасні прецизійні закордонні стенди - великогабаритне, енергоємне й дороге устаткування (п.7) із системою безпосереднього керування двигуном, із забезпеченням стабільності кутової швидкості, яка задається, за рахунок великої інерційної маси платформи, використання повітряного підвісу її осі обертання й ртутних струмовідводів (для виключення сухого тертя між нерухомою основою й обертовою платформою).

- у лабораторних умовах (**лабораторні випробування**), коли ЗВФ створюються за допомогою спеціальних методів і засобів;
- на полігонах (**полігонні випробування**). Полігон - місце, призначене для проведення випробувань в умовах, близьких до умов експлуатації й забезпечене необхідними засобами випробувань. Полігонні випробування ПСОНК проводяться разом з тим об'єктом, на якому вони перебувають при експлуатації. Так ПСОНК літальних апаратів випробовуються при їхньому розміщенні на літаку або ракеті й для них випробувальним полігоном є аеродром або стартова площадка.
- при проведенні **натурних випробувань**, коли випробовуються вироби, а не їхні моделі або складові частини; коли умови випробу-

- вань відповідають умовам експлуатації виробу за прямим призначенням статистичної обробки експериментальних даних;
- для морської навігаційної техніки вводять поняття **швартових і ходових** випробувань.
 - для авіаційної й ракетної техніки – **наземні й польотні** випробування.
 - при **експлуатаційних випробуваннях**.

Випробування з використанням моделей проводять методами фізичного, математичного моделювання й статистичних випробувань.

Фізичне (*математичне*) моделювання полягає в тому, що об'єкт випробувань замінюється простою фізичною (*математичною*) моделлю, здатною імітувати зміни параметрів об'єкта.

Статистичні випробування полягають у тому, що шляхом багаторазових випадкових випробувань визначають ймовірність появи деякої випадкової події (наприклад, відмови). Метод статистичних випробувань дозволяє визначити характеристики надійності.

3.2. За призначенням

За призначенням випробування підрозділяються на:

- дослідницькі – проводяться для вивчення певних характеристик і параметрів об'єкта при тому або іншому впливі. Проводяться по встановлених методиках і на атестованому устаткуванні.
- означальні - для визначення кількісних показників надійності об'єкта;
- порівняльні - при яких випробовуються два або більше аналогічних або однакових об'єктів в однакових умовах для порівняння характеристик їхньої якості;
- контрольні випробування, проводять для встановлення відповідності характеристик виробу заданим.

3.3. За стадіями життєвого циклу

На стадії РОЗРОБКИ випробування розділяються на наступні види:

- доводочні;
- попередні;
- приймальні.

Доводочні випробування – дослідницькі, і проводять їх з метою оцінки впливу внесених змін для досягнення заданих значень показників якості (точність, надійність і т. д).

Після виконання першого етапу дослідницьких випробувань починається доведення характеристик приладу вимогам ТЗ. Так, для гірокомпаса «Круїз» після одержання перших результатів дослідницьких випробувань, ви-

никло завдання зменшення часу приходу гірокомпаса в меридіан з 60 хв. до 30 хв.

Попередні випробування проводяться для встановлення відповідності дослідних зразків вимогам ТЗ і ТУ.

Приймальні випробування вирішують питання про постановку виробу на виробництво.

На стадії ВИРОБНИЦТВА випробування розділяються на:

- кваліфікаційні - випробування настановної серії або першої промислової партії, проведені з метою виявлення готовності підприємства випускати продукцію в заданому обсязі;
- пред'явницькі проводяться службою технічного контролю підприємства-виготовлювача перед пред'явленням виробу для приймання представником замовника або споживачем;
- приймально-здавальні випробування (ПЗВ) проводяться за участю представника замовника ;
- періодичні проводяться в обсягах, а також в строки, встановлені НТД, контролюють стабільність якості продукції, що випускається, і можливість продовження випуску;
- типові випробування – це контрольні або перевірочні випробування, які проводяться після внесення змін у конструкцію або технологію виготовлення з метою оцінки ефективності й доцільності внесених змін;
- інспекційні – проводяться у вибіркового порядку з метою контролю стабільності якості, проведені спеціальною вповноваженою організацією;
- атестаційні – для оцінки якості продукції при її атестації по категоріях якості;
- сертифікаційні – проводяться незалежною від виробника й уповноваженою організацією з метою визначення відповідності якості продукції вимогам національного або міжнародного стандартів.

На стадії ЕКСПЛУАТАЦІЇ випробування розділяються на:

- підконтрольні - проводяться для підтвердження відповідності продукції вимогам НТД в умовах застосування продукції, а також для одержання інформації про надійність продукції, пропонування рекомендацій з усунення недоліків; для проведення виконавцем виділяються спеціальні зразки, які попередньо проходять кваліфікаційні й періодичні випробування.
- Експлуатаційні - проводяться для визначення доцільності подальшої експлуатації, коли зміни показників якості можуть привести до зниження ефективності. Вони проводяться через інтервали часу або при досягненні наробітку.

- Інспекційні - ті ж , що й на стадії виробництва.

Для скорочення обсягів робіт, вартості й строків випробувань їх об'єднують, наприклад: попередні + доводочні; періодичні + типові.

3.4. За тривалістю

За тривалістю випробування підрозділяють на:

- Нормальні – випробування, методи й умови проведення яких забезпечують одержання необхідної інформації за такий же час, що й при експлуатації;
- Прискорені - методи й умови проведення яких забезпечують одержання необхідного обсягу інформації в більш короткий строк, чим у передбачених технічною документацією умовах і режимах експлуатації;
- Скорочені – проводяться по скороченій програмі (наприклад, не при всіх видах впливів).

3.5. За рівнем проведення

За рівнем проведення випробування підрозділяються на:

- відомчі, проведені комісією із представників зацікавленого відомства або міністерства;
- міжвідомчі – це приймальні випробування , проведені декількома зацікавленими відомствами (наприклад, Мін. Оборони й Мін. Транспорту);
- державні, проведені державною комісією для видів продукції, установлених державою як найважливіша, у спеціальних випробувальних центрах.

3.6. За видом зовнішніх впливів

За видом зовнішніх впливів випробування підрозділяються на наступні види:

- кліматичні випробування - при яких основним видом впливів на об'єкт випробувань (ОВ) є кліматичні фактори: температура й вологість повітря, атмосферний тиск;
- механічні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є механічні навантаження;
- електричні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є електричні навантаження;
- електромагнітні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є електромагнітні поля;
- біологічні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є життєдіяльність організмів;

- хімічні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є хімічні фактори й реакції різних речовин ;
- радіаційні випробування - при яких основним видом впливів на ОВ є іонізуюче випромінювання;
- с комбінованими впливами - кілька видів впливів одночасно.

3.7. За результатами впливу

За результатом впливу випробування підрозділяють на

- руйнуючі випробування, якщо в процесі їхнього проведення застосовують руйнуючі методи контролю або в результаті впливу зовнішніх факторів ОВ стає непридатним для подальшого використання;
- неруйнівні випробування, коли використовують методи неруйнівного контролю;
- випробування на стійкість;
- випробування на міцність.

3.8. За обумовленими характеристиками об'єкта

За обумовленими характеристиками об'єкта випробування розрізняють на

- надійні випробування;
- граничні випробування;
- технологічні випробування.

Найбільш важливими з них є випробування на надійність. Надійність будь-якого виробу характеризується безвідмовністю, довговічністю й ремонтпридатністю.

Приклад 1. Приймально-здавальні випробування гірокомпасу «КРУИЗ»



Рис. 3 . Гірокомпас «КРУИЗ».Центральний прилад(зліва) та прилад управління

Гірокомпас «КРУИЗ» був розроблений у 1991 р. за ідеєю наукового співробітника Київського політехнічного інституту В.В. Аврутова за участю провідного інженера ЦНДІ «Дельфин», м.Москва І.А.Дедка, головного інженера СКБ А.В.Шемеліна, інженера-конструктора А.А.Майструка, зам.директора В.П.Андрущика (Київський завод автоматики) [12-14].

Кожну систему, що пройшла пред'явницькі випробування та признана відділом технічного контролю (ВТК) придатною, пред'являють представнику замовника для проведення приймально-здавальних випробувань.

Випробування та прийняття проводить представник замовника силами та засобами підприємства-виробника у присутності представників ВТК у обсязі та послідовності, що вказані у табл. 2.

Таблиця 2 – Порядок проведення приймально-здавальних випробувань ГК «КРУИЗ».

Зміст перевірки	Технічні вимоги (пункти Додатку 1)	Методи випробувань (пункти Додатку 2)
1. Комплектність	2	5
2. Міцність до впливу вібрації однієї частоти	1.10	6
3. Опір ізоляції	1.11	7
4. Час приходу в усталений стан на нерухомій основі	1.2	12
5. Усталена похибка, статична похибка в одному запуску	1.3	13
6. Нестабільність усталеної похибки від запуску до запуску	1.3	14
7. Похибка компенсації швидкісної похибки	1.3	15
8. Похибка при хитавиці та різниця показань репітерів	1.5	16
9. Похибка широтної корекції	1.4	17

Приклад 2. Періодичні випробування гірокомпасу «КРУИЗ»

- Періодичні випробування системи проводять в об'ємі і послідовності, які вказані в таблиці 3.
- Періодичні випробування проводить підприємство – виробник системи за участі і під контролем представника замовника.
- Представник замовника в присутності представника ВТК відбирає на періодичні випробування одну систему із числа виготовлених в контрольованому періоді, які пройшли приймально-здавальні випробування

- В процесі всіх періодичних випробувань рекомендується перевіряти параметри системи одним і тим самим комплектом контрольно – перевіркової апаратури.
- Періодичні випробування здійснюються один раз на рік.

Таблиця 3 – Порядок проведення періодичних випробувань ГК «КРУИЗ».

Зміст перевірки	Технічні вимоги (пункти Додатку 1)	Методи випробувань (пункти Додатку 2)
1. Споживана потужність	1.8	18
2. Стійкість до зміни напруги	1.7	19
3. Час приходу в стає положення на хитавиці	1.2	20
4. Похибка при гармонійних коливаннях	1.3	21
5. Міцність при нахилах	1.10	22
6. Стійкість до пониженої та підвищеної температури	1.9	23
7. Час приходу в стає положення при зниженій температурі	1.2	24
8. Міцність при зниженій температурі	1.10	25
9. Міцність при підвищеній температурі	1.10	26
10. Міцність при підвищеній вологості	1.10	27
11. Стійкість при вібрації	1.9	28
12. Стійкість до удару	1.9	29
13. Ступінь захисту приладів	1.12	30
14. Безвідмовність	1.13	31

Примітка

Послідовність проведення випробувань, що вказана в таблиці 3, може бути змінена по узгодженню з представником замовника.

Контрольні запитання:

- 1) Назвіть основні класи (види) випробувань.
- 2) Які випробування бувають за методами, умовами і місцем проведення?
- 3) Які випробування бувають за призначенням?
- 4) Які випробування бувають за стадіями життєвого циклу приладу?
- 5) Які випробування бувають за видом впливу?
- 6) Які випробування бувають за рівнем проведення?

4. Програма випробувань

Програма випробувань (ПВ) - це обов'язковий для виконання організаційно-методичний документ.

ПВ складається із шести розділів:

- Об'єкт випробувань (ОВ);
- Ціль випробувань ;
- Обґрунтування необхідності проведення випробувань;
- Місце проведення й забезпечення випробувань;
- Обсяг і методика випробувань;
- Оформлення результатів випробувань.

Розділ 1 «Об'єкт випробувань». ОВ включає найменування , креслярський і заводський номери, дату виготовлення.

ОВ можуть бути:

- макети, моделі , експериментальні зразки , виготовлені при виконанні НДР;
- дослідні зразки, виготовлені при виконанні ДКР;
- зразки, виготовлені при освоєнні виробу у виробництві й виготовлені в ході серійного виробництва.

Випробовують ті вироби, які відповідають НТД за конструкцією, зовнішнім виглядом й параметрами, обумовленим при нормальних кліматичних умовах. Наприклад, якщо ОВ є гірокомпас «КРУИЗ», то не можна випробовувати «КРУИЗ-М», а тим більше «ВЕГУ».

Об'єктом випробувань може бути одиничний виріб або партія виробів, що піддається суцільному або вибірковому контролю.

Наприклад, на випробування пред'являється партія телевізорів обсягом N. З N виробів робиться вибірка n виробів, характеристики яких визначаються. Результати оцінки й контролю вибірковими методами поширюються на всю партію з N телевізорів. У цьому випадку ОВ є вся партія телевізорів.

Якщо ОВ є макет або модель виробу, то результати випробувань відносяться до макета або моделі.

Однак, якщо при випробуванні якого-небудь виробу деякі його елементи заміняють моделями, то ОВ залишається сам виріб.

Розділ 2 «Ціль випробувань» містить конкретну мету (або цілі) випробувань. Вона визначається як видом випробувань, так й етапом ЖЦ виробу.

Мета випробувань розкриває їхнє призначення, що повинне бути відбите в назві (див. п.3.2.«Класифікація випробувань за призначенням»). Тому , щоб сформулювати назву випробувань , необхідно встановити їхнє призначення, тобто визначити до якої із чотирьох груп (дослідницькі, контрольні, порівняльні, означальні) їх можна віднести.

Аналогічно, у назві випробувань можуть бути враховані інші ознаки виду випробувань (ТРИВАЛІСТЬ, РІВЕНЬ ПРОВЕДЕННЯ, ВИД ВПЛИВУ й ін.).

Наприклад, «МІЖВІДОМЧІ СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ гірокомпасу КРУЇЗ».

Розділ 3 «Обґрунтування необхідності проведення випробувань» - вказуються планові документи, у яких регламентується проведення випробувань (наприклад, програма забезпечення якості).

Розділ 4 «Місце проведення й забезпечення випробувань» містить найменування підрозділу, у якому проводяться випробування, а також план робіт з їхньої підготовки й проведення із вказівкою обсягу, строку виконання й відповідних виконавців робіт.

Розділ 5 «Обсяг і методика випробувань» складається із двох підрозділів:

- Умови випробувань (число зразків, розподіл їх на групи, послідовність проходження випробувань різними групами за видами впливів з описом кількісної характеристики кожного впливу) і номера креслень оснащення, необхідного для їхнього проведення.
- Відомості про контрольовані параметри виробу із вказівкою документації, по якій потрібно виміряти ці параметри.

Розділ 6 «Оформлення результатів випробувань» визначає форму подання результатів випробувань: протокол, звіт, технічна довідка.

Контрольні запитання:

1. З яких розділів складається програма випробувань?
2. Назвіть всі розділи програми випробувань.

5. Методика випробувань

Одним із завдань, розв'язуючих при підготовці випробувань, є розробка й випуск методики випробувань. **Методика випробувань** – це організаційно-методичний документ, обов'язковий до виконання.

У ньому містяться :

- метод випробувань;
- засоби й умови випробувань;
- порядок відбору проб;
- алгоритми виконання операцій по визначенню характеристик ОВ;
- форми подання й оцінка точності результатів;
- вимоги техніки безпеки й охорони навколишнього середовища.

Методика випробувань визначає процес їхнього проведення. Вона може бути викладена в самостійному документі або в ПВ. Методика є також складовою частиною НТД (стандарти, ТУ) на вироби, що виготовляються.

Метод випробувань – сукупність правил застосування певних принципів і засобів для реалізації випробувань, що дозволяють забезпечити перевірку виробів на відповідність вимогам НТД.

У методах випробувань повинен бути передбачений вплив на вироби об'єктивних зовнішніх збудуючих факторів (ЗЗФ) за нормами, встановленими НТД. Для більшості випробувань ЗЗФ розбивають за ступенем твердості, що відповідають різним умовам експлуатації виробу.

Пристрої для проведення випробувань повинні бути виконані відповідно до вимог ЕСКД і вчасно атестовані. Атестація передбачає визначення нормованих точних характеристик, перевірку й відповідності НТД і встановлення придатності до роботи.

У методиці випробувань описуються такі етапи процесу випробувань:

- перевірка пристроїв для випробувань (періодичне калібрування);
- підготовка виробів до випробувань;
- спільна перевірка пристроїв для випробувань й ОВ;
- реєстрація результатів випробувань і даних про умови їхнього проведення.

Спільна перевірка пристроїв для випробувань й ОВ повинна показати, чи не ушкоджуються пристрої для випробувань й ОВ через неузгодженість між собою їхніх сигналів.

Реєстрація результатів випробувань повинна містити :

1. Параметри навколишніх умов (температура, вологість, запиленість);
2. Дату реєстрації;
3. Відомості про персонал, що проводить випробування;
4. Опис точної конфігурації ОВ;
5. Відомості про критерії приймання/бракування у випадку приймально-здавальних випробувань.

У додатку 2 приведені методи випробувань для ГК «КРУИЗ».

Контрольні запитання:

- 1) Що таке методика випробувань?
- 2) Які розділи містяться у методиці випробувань?
- 3) Що таке метод випробувань?
- 4) Що повинно міститися у реєстрації результатів випробувань?

6. Способи проведення випробувань

На практиці застосовують наступні способи проведення випробувань:

- Послідовний;

- Паралельний;
- Послідовно-паралельний;
- Комбінований.

При *послідовному способі* ОВ послідовно піддають всім передбаченим ПВ видам випробувань. Послідовність випробувань передбачає виявлення найбільш грубих дефектів виробів, наприклад помилок маркування, коротких замикань й обривів при здатних до прийому випробуваннях.

Важлива умова проведення послідовних випробувань - виконання певного порядку впливу зовнішніх факторів. В одних випадках становлять ПВ так, що спочатку на ОВ діють найнебезпечніші зовнішні фактори. Так швидше виявляються ненадійні зразки й скорочується час випробувань. Однак при цьому губиться більша частина інформації про вплив інших факторів. Тому в інших випадках становлять ПВ таким чином, що випробування починають із впливу найменш твердих зовнішніх факторів. Це дозволяє точніше визначити причини спостережуваних відмов. Однак, якщо найнебезпечніші для ОВ ЗЗФ впливають наприкінці випробувань, то значно збільшується час їхнього проведення й, нарешті, вартість випробувань.

Оскільки ОВ мають різне призначення й умови експлуатації, немає сенсу у встановленні єдиної послідовності проведення випробувань. Для конкретних ОВ оптимальна послідовність проведення випробувань указується в ТУ або ПВ.

Недолік послідовного способу проведення випробувань - у міру переходу від одного ЗЗФ до іншого в ОВ накопичуються деградаційні зміни у фізичній структурі. Це прискорює зношування ОВ.

При *паралельному способі* проведення випробувань вироби піддають впливу різних ЗЗФ одночасно (паралельно) на декількох вибірках. Такий спосіб дозволяє одержати великий обсяг інформації за більш короткий проміжок часу, чим при послідовному способі. Однак паралельний спосіб вимагає більшого числа випробовуваних виробів, чим послідовний.

При *послідовно-паралельному способі* всі вироби розбивають на групи, які випробовують паралельно. У кожній групі випробування проводять послідовним способом.

Всі види випробувань також розбивають на групи, число яких дорівнює числу груп випробовуваних виробів. Групи випробувань формують по видах випробувань так, щоб з однієї сторони тривалість випробувань у всіх групах була приблизно однаковою, а з іншого боку - умови проведення об'єднаних в одну групу випробувань були близькі до реального.

Приклад групування видів випробувань і послідовності їхнього проведення в кожній групі:

Група І: вібростійкість при тривалому впливі вібрації,
ударна міцність, ударна стійкість, стійкість до впливу
відцентрового прискорення, циклічний вплив температури,

вплив сонячної радіації, вплив пилу.

Група II: теплотривкість при тривалому впливі підвищеної температури, вплив морського туману.

Група III: вологостійкість при тривалому впливі вологи, холодостійкість, вплив інею й роси.

Група IV: грибостійкість.

При *комбінованому способі* випробувань на ОВ одночасно впливають кілька зовнішніх факторів. Ціль - наближення лабораторних умов випробувань до реальних умов експлуатації.

Приклад: для імітації умов вібрації в космічному просторі проводять лабораторні випробування на вібрацію при одночасному впливі на ОВ низької температури й вакууму.

Широке застосування комбінованого способу випробувань обмежено відсутністю необхідного встаткування, складністю й високою вартістю таких випробувань.

Контрольні запитання:

- 1) Які ви знаєте способи проведення випробувань?
- 2) Чим характеризується послідовний спосіб ?
- 3) Назвіть недоліки послідовного способу .

7. Випробувальне обладнання

Сучасне випробувальне обладнання в залежності від цілі використання може вироблятися серійно або створюватися у одиничному екземплярі. Таке обладнання дозволяє проводити комбіновані випробування .

Найбільш розповсюдженим являється наступне випробувальне обладнання:

1. Одновісні поворотні стенди;
2. Двовісні поворотні стенди;
3. Тривісні поворотні стенди;
4. Центрифуги;
5. Вібростенди;
6. Віброфуги;
7. Кліматичні лабораторії;
8. Ударні стенди;
9. Кільця Гельмгольца.
10. Стенд Скорсбі.

7.1. Одновісні поворотні стенди (столи)

Одновісні поворотні стенди [4] є прецизійним обладнанням, що спеціально розробляється для створення кутової швидкості, кутового прискорення.

рення та фіксованого повороту відносно однієї вісі для випробувань акселерометрів, гіроскопів, перемикачів швидкості та декодерів.

Одновісний поворотний стенд (рис. 7.1) містить вертикальну вісь обертання . Тут введені такі позначення: 1- об'єкт випробування, 2- монтажне устаткування, 3- струмопідводи, 4- двигун. Для зменшення тертя використовують шарикопідшипники або газодинамічні опори. Прецизійні рідкісні рівні мають бути використані для юстировки вісі обертання відносно вертикалі . Орієнтація стенду відносно сторін світу (захід – схід, північ – південь) не має значення, якщо стенд використовується для вимірювання значення масштабного коефіцієнта гіроскопу.

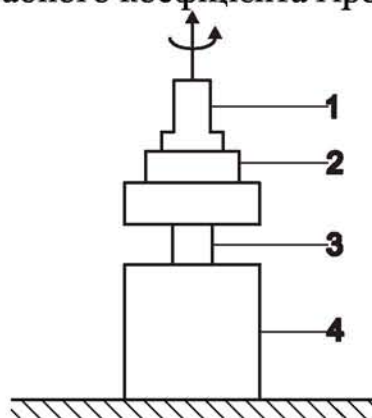


Рис. 4. Схема одновісного поворотного стенду

Виробники поворотних стендів забезпечують керування швидкістю обертання від 0.1 %/с до 3000 %/с. Також можливо змінювати швидкість обертання по синусоїдальному та іншому закону. Живлення , заземлення, та керуючі дроти, підводяться струмовідводами. Також вихідні сигнали гіроскопу можуть передаватися радіоканалом з частотою 2 ГГц та швидкістю передачі даних 100 кбит/сек на приймаючу антену.

Реальні технічні дані розглянемо на прикладі обладнання компанії ACUTRONIC [10].

Серія DC-AC1125

Габарити :



- висота , мм -905;
- діаметр стола, мм -500;
- ширина, мм – 500;

Виріб, що випробується:
вага ,кг – не більше 454;

Рис. 5. Одновісний поворотний стенд DC-AC1125

Таблиця 4 – Технічні дані одновісних поворотних стендів

Технічні характеристики	DC-1125-020	DC-1125-060	AC-1125-100	AC-1125-350
Роздільна здатність (дискретність) кута повороту, град	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Кутова швидкість, град/сек.	+/-1000	+/-600	+/-1200	+/-1200
Роздільна здатність кутової швидкості, град/сек	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,%				
- більше 360°	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
- більше 10°	0.001	0.005	0.005	0.005
- більше 1°	0.01	0.05	0.05	0.05
Момент, Нм	22	60	100	350
Прискорення, град/сек ²	2500	6800	12000	45000
Смуга пропускання, Гц	50	60	60	60
Керуючий пристрій	ACT3001-РА	ACT3001-РА	ACT3000	ACT3000

Серія AC-DC130



Габарити :

- висота загальна, мм -1702;
- висота від підлоги до стола, мм без термокамери -991;
- з термокамерою -1158;

- діаметр стола, мм -445

Виріб, що випробується:

- вага, кг – не більше 227;
- висота максимальна, мм – 445;
- діаметр максимальний, мм – 305-559;
- струмопідводи – 30 ліній.

Таблиця 5 - Технічні дані серії AC-DC130

Рис. 6. Одновісний поворотний стенд AC-DC130

Технічні характеристики	AC-DC130-10	AC-DC130-20	AC-DC130-80	AC-DC130-150
Роздільна здатність	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001

(дискретність) кута повороту, град				
Кутова швидкість, град/сек.	+/-10000	+/-1000	+/-1000	+/-1000
Роздільна здатність кутової швидкості, град/сек	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,% - більше 360°	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Момент, Нм	22	60	100	350
Прискорення, град/сек ²	700	5750	14500	25000

Термокамера (опція):

- діапазон температури, °С : -55+85;

- стабільність, °С : +/- 1.0;

- зміна температури, °С/хв. :

- LN_2 або CO_2 : 5 (охолодження та нагрів);

- механічний рефрижератор (опція) : 1.5 (охолодження); 5 (нагрів)

7.2. Двовісні поворотні стенди

Двовісний поворотний стенд [4] (рис. 7) містить горизонтальну вісь, що обертається автоматично або вручну та внутрішню вісь обертання з шарикопідшипниками або газодинамічними опорами. Орієнтація стенду відносно сторін світу (захід – схід, північ – південь) виконується за допомогою теодоліту та за зірками. Альтернативний варіант виставки – за допомогою гірокомпасу.

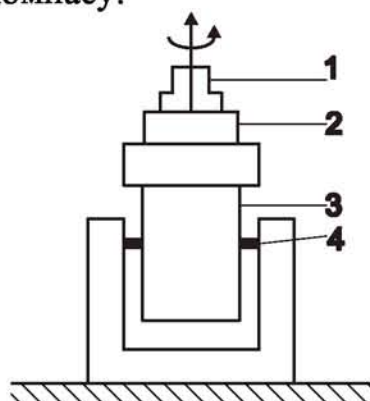


Рис. 7. Схема двовісного поворотного стенду

Тут введені такі позначення: 1- об'єкт випробування, 2- монтажне устаткування, 3-двигун, 4- струмопідводи. Горизонтальна вісь обертання дозволяє встановити внутрішню вісь обертання паралельно або перпендикулярно вісі обертання Землі. Кут між віссю обертання стола та горизон-

тальною віссю дорівнює географічній широті місця випробування, якщо вісь обертання стола зорієнтована паралельно вісі обертання Землі.

Серія DC-AC2256

Серія 2256 розроблена для прецизійних випробувань інерційних чутливих елементів та інерційних вимірювальних модулів (ІВМ). Стенд дозволяє одночасно випробувати декілька ІВМ, що значно зменшує собівартість випробувань або калібрування.



Габарити :

- висота загальна, мм -1925;
- ширина, мм – 1825;
- основа, мм - 950x1275;
- стіл , мм -Ø500; матеріал – анодований алюміній з отворами М6

Рис. 8. Двовісний поворотний стенд DC-AC2256

Виріб, що випробується:

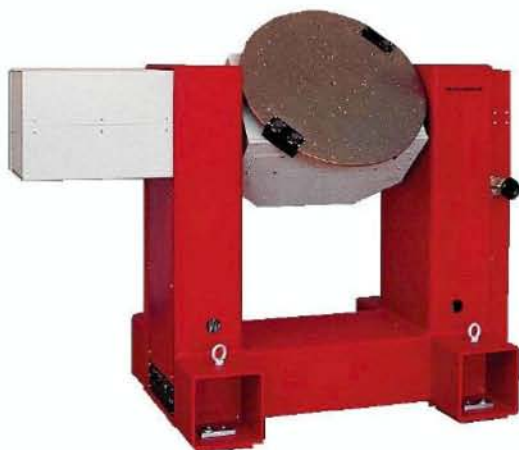
- вага номінальна (максимальна) ,кг – 40 (120);
- висота максимальна, мм – 445;
- діаметр максимальний, мм – 305-559;
- струмопідводи – 60 ліній : 20А , 400VAC; 2А,150VDC

Таблиця 6 – Порівняння технічних даних типів DC та AC

Технічні характеристики	DC2256		AC2256	
	Внутрішня вісь	Зовнішня вісь	Внутрішня вісь	Зовнішня вісь
Роздільна здатність (дискретність) кута повороту, град	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Кутова швидкість, град/сек.	+/-1000	+/-200	+/-1200	+/-600
Роздільна здатність кутової швидкості , град/сек	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,% - більше 360°	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Прискорення , град/сек ²	1200	400	3000	700
Тип двигунів	DC	DC	AC	AC

Серія АС2267-ТС

Серія АС2267-ТС містить досить об'ємну термокамеру і також розроблена для випробувань інерційних чутливих елементів та інерційних вимірювальних модулів (ІВМ). Стенд дозволяє одночасно випробувати кілька ІВМ.



Габарити :

- висота загальна, мм -1915;
- ширина, мм – 2420;
- основа, мм - 900x1870;
- стіл , мм –Ø660; матеріал – анодований алюміній з отворами М6

Виріб, що випробується:

- вага номінальна (максимальна), кг – 40 (120);
- висота максимальна, мм – 500;
- діаметр максимальний, мм – 600;
- струмопідводи : 20А , 400VAC;
2А,150VDC

Рис. 9. Двовісний поворотний стенд АС2267-ТС

Термокамера :

- діапазон температури, °С : -50+90;
- стабільність ,°С : +/- 1.0;
- зміна температури, °С/хв. :
 - LN₂ або СО₂ : 5 (охолодження та нагрів);
 - механічний рефрижератор : 1.5 (охолодження); 5 (нагрів)

Таблиця 7 – Технічні дані АС2267-ТС

Технічні характеристики	АС2267-ТС	
	Внутрішня вісь	Зовнішня вісь
Роздільна здатність (дискретність) кута повороту, град	0.00001	0.00001
Кутова швидкість, град/сек.	+/-1000	+/-600
Роздільна здатність кутової швидкості , град/сек.	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,% - більше 360°	0.0001	0.0001
Прискорення , град/сек ²	3000	200
Тип двигунів	АС	АС

7.3. Тривісні поворотні стенди

Тривісний поворотний стенд [4] призначений для випробування блоку інерційних сенсорів (ISA-inertial sensor assembly). Такий блок містить три чи більше гіроскопів, наприклад інерційний опорний модуль (IRU- inertial reference unit), а також три чи більше акселерометрів (IMU- inertial measurement unit).

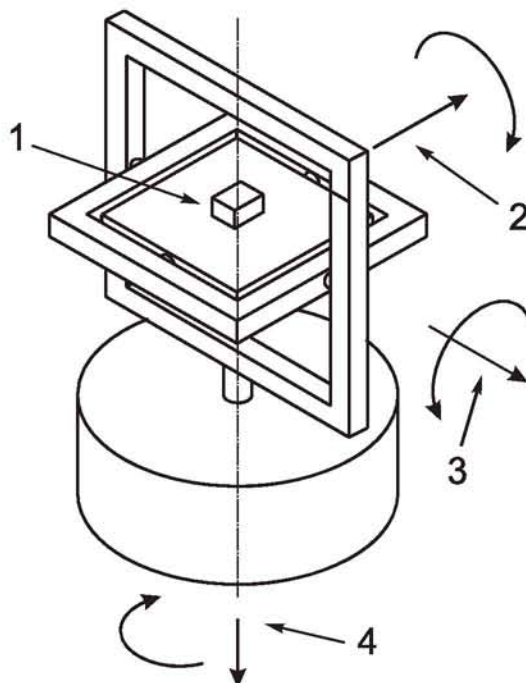


Рис. 10. Схема тривісного поворотного стенду

Для випробувань блоку інерційних сенсорів потрібно розмістити його вісі чутливості відносно вектора сили тяжіння Землі на визначені кути.

Тривісний поворотний стенд (рис.10) містить три рамки карданового підвісу, рухом якого можливо керувати, задаючи визначені кути повороту або кутову швидкість обертання. На рис.10 введені такі позначення: 1- об'єкт випробування, 2- внутрішня, 3- середня, 4- зовнішня вісі обертання.

Треба відмітити, що послідовність обертання або розміщення рамок підвісу може відрізнятись від тої, що зображена на рис.10.

Серія АС3350

Серія АС3350 розроблена для випробувань систем інерційної навігації, сенсорів руху та інших інерційних компонентів.



Габарити :

- висота загальна, мм -2280;
- ширина, мм – 2000;

Виріб, що випробується:

- вага номінальна ,кг – 40 ;
- висота максимальна, мм – 500;
- діаметр максимальний, мм – 500;

- струмопідводи : 20А , 400VAC; 2А,150VDC

Рис. 11. Тривісний поворотний стенд АС3350

Таблиця 8 – Технічні характеристики АС3350-08

Технічні характеристики АС3350-08	Внутрішня вісь (крену)	Середня вісь (тангажу)	Зовнішня вісь (рискання)
Кутова швидкість, град/сек.	+/-300	+/-300	+/-100
Роздільна здатність кутової швидкості, град/сек.	0.00001	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,% - більше 360°	0.001	0.001	0.001
Прискорення, град/сек ²	2500	350	150
Момент, Нм.	150	250	750
Моменти інерції, кг*м ²	3	35	250

7.4. Центрифуги

Основна задача випробувань з використанням центрифуг – встановлення залежності параметрів об'єкту випробувань від значних порівняно з прискоренням сили тяжіння вхідних прискорень.

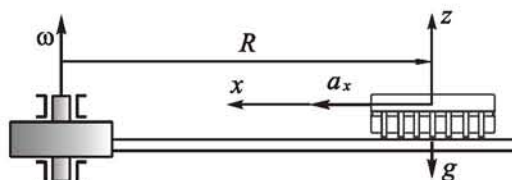


Рис. 12. Схема центрифуги

Для схеми випробувань, яка показана на рис.12, для проекцій прискорення на вісі $Oxyz$, пов'язані з об'єктом випробувань, мають місце співвідношення

$$a_x = \omega^2 R, \quad a_y = 0, \quad a_z = -g.$$

Тут ω - кутова швидкість обертання центрифуги, R - радіус обертання.

Серія CARCO 824DS

Серія CARCO 824DS розроблена для випробувань, калібрування та дослідів акселерометрів та різних інерційних приладів.

**Габарити :**

- висота загальна, мм -1270;
- ширина, мм – 2160;
- радіус стола, мм - 762

Виріб, що випробується:

- вага номінальна ,кг – 9 ;
- габарити, мм – 508 x 254 x 254;
- струмопідводи : 30 ліній по 2А
кожна

Рис. 13. Центрифуга CARCO 824DS

Таблиця 9 - Технічні характеристики CARCO 824DS

Технічні характеристики	CARCO 824DS	
	824DS-1	824DS-2
Роздільна здатність (дискретність) кута повороту, град	0.00001	0.00001
Кутова швидкість, град/сек.	1300	1700
Роздільна здатність кутової швидкості , град/сек.	0.00001	0.00001
Стабільність кутової швидкості,% - більше 360°	0.0001	0.0001
Час досягнення 40 g , сек.	35	13
Діапазон зміни температури, град С	-55+85	-55+85
Стабільність, град С	+/-1,0	+/-1,0

7.5. Вібростенди

У нас найбільш розповсюджені та відомі вібростенди серії ВЭДС (Росія) та Bueel & Kjean (Данія).

Випробувальні вібростенди серії ВЭДС , призначені для проведення випробувань виробів на вплив односкладової гармонічної вібрації, широкосмугової випадкової вібрації, ударної вібростійкості і інших видів вібрації і можуть експлуатуватися в лабораторних і виробничих умовах в різних галузях промисловості.



Рис. 14. Вібростенд серії ВЭДС

В залежності від вимог до заданого сигналу збудження можливі різні варіанти систем керування вібростендами ВЭДС, починаючи від простого генератора гармонійного сигналу і закінчуючи професійною системою керування/вимірювання. Випробувальні вібростенди мають параметричний ряд удосконалених віброустановок, побудованих за модульним принципом.

Таблиця 10 – Технічні характеристики вібростендів

Найменування	ВЭДС-100	ВЭДС-200	ВЭДС-400	ВЭДС-1500
Максимальна збуджуюча сила, Н	1000	2000	4000	15000
Робочий діапазон частот, Гц				
- номінальний	20-2500	20-2500	20-1500	20-1500
- розширений	5-5000	5-5000	5-3500	5-2500
Максимальне прискорення, м/с ²		400		430
Максимальне переміщення стола, мм		±4,5		±6
Максимальна маса навантаження, кг	22	45	0	300
Споживча потужність від мережі (380/220 В, 50 Гц), кВт	5	7	9	40

7.6. Віброфуги

Віброфуги – стенди комплексного випробування на статичне та динамічне прискорення.

Слід відзначити модель V67-4H виробництва компанії ACTIDYN SYSTEMES (Франція).



Рис. 15. Віброфуга V67-4H

Габарити :

- висота загальна, мм -4016;
- радіус обертання, мм - 4650

Виріб, що випробується:

- вага (max) , кг – 120 ;
- габарити, мм – 600 x 600 x 600;
- струмопідводи : 10 ліній по 1А

Технічні характеристики:

- рівень прискорення (номінальний радіус) – від 5 до 80 g;

- номінальний радіус – 4 м;
- кутова швидкість - 30-135 об/хв.;
- час готовності – 8 хв.;
- сила вібратора – 50000 Н;
- діапазон частот – 10-2000 Гц

7.7. Кліматична лабораторія

Лабораторія повинна мати у своєму розпорядженні установки, що дозволяють проводити випробування й дослідження із впливу на прилади та системи зовнішніх навколишніх умов, таких, як: температура, тиск, вологість, сонячна радіація, пил, грибкові утворення, соляний туман. Всі установки мають бути автоматизовані та дозволяти підтримувати задані параметри з бажаною точністю $\pm 1\%$.

Серед сучасного кліматичного обладнання виділяються кліматично-випробувальні камери «EXCAL» компанії «CLIMATS» (Франція) [20]. В камерах цієї компанії в 1987 р. вперше в світі було впроваджено вбудований комп'ютер.



Рис. 16. Камера "EXCAL" класу холод/тепло.

Таблиця 11 - Технічні характеристики камер «EXCAL»

Об'єм, літри	Розміри, мм	Мін. температура, °С	Макс. температура, °С
140	550 x 500 x 500	від -40 до -70	+180
220	550 x 500 x 750	від -30 до -80	+180
540	750 x 800 x 900	від -30 до -85	+180
770	900 x 950 x 900	від -40 до -90	+180
1400	1150 x 1100 x 1100	від -35 до -85	+180

Камери «EXCAL» містять персональний комп'ютер промислового виконання з 15'' сенсорним екраном, USB портом, інтерфейсом RS232 та програмним забезпеченням Spirale 3, яке працює під ОС «Windows».



Камера вологості:

- температурний вплив: від - 60°С до + 150°С;
- вплив відносної вологості навколишнього середовища: до від 30 до 90%.

Рис. 17. Камера вологості "EXCAL" класу холод/тепло/вологість модельного ряду ТМН

Камери солоного туману, температурного й барометрического тиску, впливу пилом:



Рис.18. Камери солоного туману, температурного й барометрического тиску, впливу пилом

- вплив солоного туману при відносній вологості 90 - 95% та концентрації 2 - 3 г/куб.м;

- барометричний вплив від 100 кПа до 1 кПа;
- температурний вплив: від - 60°C до + 120°C;
- вплив пилу при температурі від + 20°C до + 55°C;
- і швидкості потоку від 1 м/сек до 16 м/сек.

Камера випробувань на стійкість до грибків [11]:



- температурний вплив: від + 40°C до + 350°C;
- вплив грибків при температурі $29\pm 2^\circ\text{C}$ й вологості повітря до $95\pm 3\%$.

Рис. 19. Камера випробувань на стійкість до грибків

7.8. Ударні стенди

Ударні стенди призначені для проведення випробувань на удароміцність та стійкість до механічних ударів.

Ударні стенди класифікують за такими ознаками:

- за характером ударів – стенди одиночних та багатократних ударів;
- за способом витворення ударних навантажень – стенди вільного падіння та вимушеного розгону платформи;
- за конструкцією тормозного обладнання.

Як приклад, розглянемо ударний стенд ТИРА шок 4110М-1[13], який застосовується для проведення випробувань на ударне навантаження багатократною або одиночною дією згідно до ГОСТ 20.57.406, стандартів МЭК 68-2-27, МЭК 68-2-29 та «Мороз». Можливе використання для перевірки робочих засобів вимірювання (ударних акселерометрів та сенсорів удару) за піковим значенням ударного прискорення.



Рис.20. Ударний стенд ТИРА шок 4110М-1

Особливості ударного стенду ТИРА шок 4110М-1:

- ударне прискорення до 300g з звичайним та до 1000g з спеціальним фундаментом;
- висока точність повторення ударів;
- тривалість удару не менше 0,2мс при максимальних прискореннях та не менше 30мс при малих ударах;
- маса об'єкту випробування до 450 кг;
- частота повторення до 180 ударів за хвилину;
- розміри столу для об'єкта випробування: до 400 x 500мм.

Таблиця 12 - Технічні характеристики ударного стенду ТИРА шок 4110М-1:

Розміри столу, мм	180 x 380, 400 x 500
Максимальна вага об'єкту випробування, кг	450
Максимальна висота падіння столу, мм	35 (ресора +25)
Частота ударів, уд/хв	0-180
Пікове значення прискорення, g	0,2-1000
Тривалість ударного імпульсу, мс	0,2-35
Зміна пікового прискорення від удару до удару, %	<1,5
Форма ударного імпульсу	половина синусоїди
Габарити ударного стенду, L x D x H, мм	900 x 650 x 850
Габарити стійки керування, L x D x H, мм	610 x 1150 x 810
Вантаж, кг	800
Час безперервної роботи, год	8
Потужність, кВт	3,2
Робоча напруга, В та частота, Гц	380 (3 фаз.), 50±1

7.9. Кільця Гельмгольца

Розроблені німецьким фізиком Гельмгольцем більш віку тому назад [15-17], названі в його честь кільця звичайно застосовуються вченими або інженерами для генерації магнітного поля різного рівня та форми, в залежності від задач та цілей експерименту або випробувань.

Такими цілями можуть бути:

- перевірка ефективності магнітного екрану;
- визначення чутливості електронного обладнання до магнітних полів;
- калібрування навігаційних приладів, магнітометрів, датчиків Холла та інших сенсорів;
- біо-магнітні експерименти.



Рис.21. Одновісні кільця Гельмгольца

Зазвичай використовуються одновісні кільця Гельмгольца (рис.21), які складаються з двох однаково намотаних та з'єднаних послідовно котушок. Магнітне поле утворюється всередині простору кілець, якщо на вхід котушок подається постійний або перемінний електричний струм.

Напруженість магнітного поля H може бути приблизно представлено формулою (в одиницях СІ)

$$H \approx 0,715 \frac{nI}{R},$$

де H міряється в амперах/метр, n - кількість витків одної котушки, I - величина електричного струму в амперах, R - радіус котушки в метрах.

Також можна виразити магнітну індукцію

$$B = \mu\mu_0 H \approx 8,99 \cdot 10^{-7} \mu \frac{nI}{R},$$

де одиницею виміру магнітної індукції є Тесла, μ - відносна проникливість, μ_0 - стала проникливості.

У випадку ненавантажених котушок $\mu = 1$, тоді $B = \mu_0 H$.



Рис.22. Тривісні кільця Гельмгольца

Крім одновісних, на практиці використовують двовісні та тривісні кільця Гельмгольца. Кожна пара кілець або котушок контролюється незалежно одна від іншої через вхідний струм. В результаті вектор магнітного поля кожної котушки може регулюватися, як того потребує програма випробувань. Так, тривісні кільця Гельмгольца (рис.22) можуть бути використані для видалення ефекту магнітного поля Землі.

7.10. Стенд Скорсбі

Стенд Скорсбі призначений для імітації тривісної хитавиці. Вперше був розроблений американськими інженерами компанії «SPERRY». У 1932 р. компанія поставила гировертикаль на кульовому гіроскопі разом із стендом Скорсбі заводу «Електроприбор», м. Ленінград. Після модернізації стенд на даний час використовується в ЦНДІ «Електроприбор» для випробувань різних морських навігаційних приладів.



Рис. 23. Стенд Скорсбі, ЦНДІ «Електроприбор»

Класичний випробувальний стенд Скорсбі морського приладобудування - це горизонтальна платформа з об'єктом випробування, яка знаходиться у тривісному кардановому підвісі. Кожна з вісей карданова підвісу імітує хитавицю корабля за кутами рискання, кильової і бортової хитавиці. У цапфах осей карданова підвісу розташовані реверсивні двигуни, які управ-

ляються незалежно один від одного, що дозволяє задавати параметри хитавиці окремо по кожній вісі, наприклад:

- бортова хитавиця з амплітудою $(5\pm 1)^\circ$ і періодом (15 ± 1) с;
- кильова хитавиця з амплітудою $(5\pm 1)^\circ$ і періодом (6 ± 1) с.

Відзначимо, що аналогом стенду Скорсбі на заводах морського приладобудування (наприклад, на Київському заводі автоматики ім. Петровського) є стенд «Кречет».

В авіаційній промисловості стенди Скорсбі імітують коливання літального апарату по кутах рискання, крену і тангажу. Використовуються вони як стандартне устаткування для проведення великого числа випробувань інерціальних чутливих елементів і бортової авіоніки.

Сучасний стенд Скорсбі моделі 9790-BVR виробництва компанії «Ideal Aerosmith» (США) призначений для випробувань гіроскопічних приладів, а також датчиків руху, які використовують в різних областях техніки. Має лічильник циклів коливань, що дозволяє змінювати число циклів від 1 до 99. Частота коливань може змінюватись від 3 до 60 циклів за хвилину. Має інтерфейс RS-232 (можлива опція IEEE-488). На відміну від класичного стенду Скорсбі у моделі 9790-BVR використовується запатентований спосіб створення руху платформи по трьох куткових координатах за допомогою єдиного обертання приводного валу.



Рис.24. Стенд Скорсбі компанії «Ideal Aerosmith», модель 9790-BVR

Табл.13 Технічні характеристики моделі 9790-BVR

Габарити, мм	762 x 610 x 1034
Вага, кг	227
Режими керування	Off, Left, Right, Oscillate
Параметри хитавиці	Стандартний : регулюється від 3 до 60 циклів за хвилину с точністю 0,1 цикла/хв
Діапазон зміни кутів хитавиці, град	0 – 15 , од.інтервалу 0,1°
Значення кутів хитавиці, що задаються, град	0,5,10 и 15
Вага об'єкту випробувань, кг	до 227
Температурний діапазон, °С	0 – 54
Електричне живлення	115/230 В, 60/50 Гц
Розміри платформи, мм	762 x 610

ДОДАТКИ

Додаток 1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ГІРОКОМПАСУ «КРУІЗ»

1. Основні параметри й характеристики гірокомпасу «КРУІЗ» (далі ГК)
 - 1.1. Похибки показання курсу ГК в залежності від умов плавання мають бути не більше вказаних в табл. 1 .

Таблиця 1. Похибки показання курсу ГК

Найменування похибки	Значення похибки (φ - широта місця)	
	$\varphi \leq 60^\circ$	$60^\circ < \varphi \leq 75^\circ$
Усталена похибка	$0,25^\circ \sec \varphi$	$1,5^\circ$
Похибка компенсації швидкісної похибки на прямому курсі при постійній швидкості до 20 вуз	$0,2^\circ \sec \varphi$	$0,6^\circ$
Похибка від хитавиці з горизонтальним прискоренням до 1 м/с^2	$0,6^\circ \sec \varphi$	$2,0^\circ$
Похибка від швидкої зміни швидкості на 20 вуз	$1,5^\circ$	$2,0^\circ$
Похибка від швидкої зміни курсу на 180° при швидкості до 20 вуз	$2,0^\circ$	$2,5^\circ$
Похибка при будь-якому режимі руху судна при швидкості до 60 вуз	$2,3^\circ$	$2,7^\circ$

Примітки:

Похибки показання курсу вказано без врахування впливу похибок вводу широти і швидкості, які вносять додаткову похибку $\delta = 0,05^\circ \Delta\varphi - 0,06\Delta v \cos K \sec \varphi$,

де $\Delta\varphi$ - похибка вводу широти, град;

Δv - похибка вводу швидкості, вуз.

- Усі похибки, окрім першої, визначаються відносно усталеного значення курсу.
 - ГК виробляє курс в площині палуби.
- 1.2. Час готовності ГК до навігаційного використання при невідомому меридіані, з похибкою не більш 1° , повинен бути не більше 1 часа. В залежності від умов експлуатації (нахилу палуби, температури, інтенсивності хитавиці і т.д.) час готовності може збільшуватись до 1,5 ч.
 - 1.3. Похибки показання курсу при випробуваннях на стенді виробника мають бути не більше вказаних нижче:

усталена похибка : $\pm 0,25^\circ \text{ sec } \varphi$;

середньо-квадратичне значення різниць між окремим відліками курсу й середнім значенням курсу в одному пуску («статична похибка») : $\pm 0,2^\circ \text{ sec } \varphi$;

нестабільність усталеної похибки від пуску до пуску: $\pm 0,25^\circ \text{ sec } \varphi$;

похибка компенсації швидкісної похибки при вводі 20 вуз: $\pm 0,25^\circ \text{ sec } \varphi$;

похибка на стенді, що хитається («динамічна похибка») : $\pm 0,6^\circ \text{ sec } \varphi$;

похибка на стенді гармонічних коливань : $\pm 0,6^\circ \text{ sec } \varphi$.

Похибка широтної корекції не повинна бути більше $\pm 10\%$.

Різниця показань аналогових репітерів між собою, а також різниця показань цифрового репітера та індикатора курсу не повинна бути більше $0,1^\circ$. При цьому максимальна різниця показань між аналоговими й цифровими репітерами не повинна бути більше $0,5^\circ$.

Якість слідкуючої системи трансляції курсу на аналогові приймачі має характеризуватися такими показниками: статична похибка не більше $0,05^\circ$; час відпрацювання куту розбіжності 90° не більше 15 с; час заспокоєння коливань не більше 5 с.

ГК має бути стійким до тривалих змін напруги судової мережі, відхиленню напруги живлення на $\pm 20\%$ від номінальної при живленні від акумуляторних батарей. Різниця між відліками курсу при підвищеному й пониженому значеннях напруги й усталеному значенні курсу не повинна бути більше $0,6^\circ \text{ sec } \varphi$.

Потужність, що споживається ГК від мережі постійного струму 24 В в базовій комплектації, не повинна бути більше 70 Вт.

ГК має бути стійким до впливу зовнішніх факторів:

- знижена робоча температура середовища мінус $(10 \pm 3)^\circ \text{C}$ (для пеленгаторних репітерів, пелорусів й оптичного пеленгатора-мінус $(40 \pm 3)^\circ \text{C}$);
- підвищена робоча температура середовища $(55 \pm 3)^\circ \text{C}$ (для пеленгаторних репітерів, пелорусів й оптичного пеленгатора $(65 - 3)^\circ \text{C}$);
- синусоїдальна вібрація в діапазоні частот от 5 до 80 Гц й амплитудою прискорення до 10 м/с ;
- механічний удар одиночної дії з піковим прискоренням 100 м/с^2 й тривалістю імпульсу 10-15 мс.

Різниця між відліками курсу під час кожного з вказаних впливів й усталеним значенням курсу до впливу має бути не більше $\pm 0,6^\circ \text{ sec } \varphi$.

ГК має бути міцним при дії зовнішніх факторів:

- вібрація на частоті 20-30 Гц й прискорення до 20 м/с^2 ;
- знижена гранична температура середовища мінус $(60 \pm 3)^\circ \text{C}$;
- підвищена гранична температура середовища $(70 \pm 3)^\circ \text{C}$;
- підвищена відносна вологість $(95 \pm 3)\%$ при температурі $(40 \pm 3)^\circ \text{C}$;

- нахил з максимальним кутом 45° тривалістю 5 хв.;
- хитавиця з амплітудою 45° й періодом 7...9 з тривалістю 5 хв. в двох взаємно перпендикулярних експлуатаційних положеннях;
- соляний (морської) туман;
- пліснява;
- іній, роса, обмерзання (для пеленгаторних репітерів, пелорусов й оптичного пеленгатора).

Середньо-квадратичне значення різниць між окремими відліками й середнім значенням курсу в одному запуску після кожного з вказаних впливів має бути не більше $\pm 0,25^\circ \text{sec } \varphi$.

Опір ізоляції електричних ланцюгів відносно корпусу й між собою має бути не менше:

20 МОм - при нормальних кліматичних умовах,

5 МОм - при підвищеній температурі,

1 МОм - при пониженій вологості.

1.4. Маса й габаритні розміри:

- ЦП : 10 кг , 200 x 200 x 245 мм;
- ПУ : 15 кг , 255 x 365 x 245 мм.

1.5. Ймовірність безвідмовної роботи ГК протягом 2000 ч має бути не менше 0,85.

2. Комплектність

Базовий комплект ГК складається з центрального приладу ЦП й приладу керування ПК.

3. Маркирування

Кожний прилад ГК повинен мати маркирування із вказанням заводського номеру приладу.

4. Упаковка

4.1. Блочні частини зовнішніх з'єднувачів приладів перед упаковкою мають бути закриті захисними кришками, вказаними в конструкторській документації.

4.2. Прилад ЦП упаковують із зааретованим кардановим підвісом.

4.3. Експлуатаційна документація й упаковочна відомість мають бути вкладені в перший ящик.

Додаток 2. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ГІРОКОМПАСУ КРУ- ИЗ»

1. Всі випробування, якщо інше не обумовлено особливо, проводити в нормальних кліматичних умовах, які характеризуються:

- температурою навколишнього повітря $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$;
- відносною вологістю повітря $(65 \pm 15)\%$;
- атмосферним тиском $(10^5 \pm 4 \cdot 10^3)$ Па (750 ± 30) мм рт. ст.

2. При випробуваннях використовувати атестовані засоби вимірювання і устаткування.

3. У приміщенні для проведення випробувань повинні бути відмітки лінії географічного меридіана місця, нанесені з похибкою не більш $\pm 0,1^\circ$.

4. При випробуваннях з'єднання приладів, що входять до складу ГК, між собою і з джерелом живлення повинно відповідати схемі з'єднань, вказаній в специфікації ГК. Допускається застосування технологічних кабелів, набраних із проводів з екрануванням жил, що відповідає схемі з'єднань. Застосування загального екрану в технологічних кабелях не обов'язково.

5. Для перевірки комплектності перевірити наявність складових частин ГК і супровідної документації, підписаною ОТК.

6. Випробування ГК на міцність при дії синусоїдальної вібрації на одній частоті проводять у вимкненому стані, для чого прилади ГК в робочому положенні жорстко закріплюють на платформі вібростенда і проводять випробування протягом 30 хв на частотах при амплітуді віброприскорення у відповідності з п. 1.1. «Технічних вимог» (далі ТВ). Прилад вважається таким, що витримав випробування, якщо після випробування відсутні механічні пошкодження.

7. Перевірка опору ізоляції проводиться таким чином. Тераометром з вимірювальною напругою 50 В виміряти опір ізоляції між корпусом приладу і контактами X18/1, 118/2, X18/3, X18/6.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо опір ізоляції не менше значення, вказаного в п. 1.11 ТВ.

8. При підготовці і проведенні перевірок, випробувань, якщо інше не обумовлене особливо, розташовані під кришками приладів перемикачі встановити в наступні положення:

- $\varphi_c - \varphi_{ю} \rightarrow \varphi_c$
- $v_{авт} - v_{ручн} \rightarrow v_{ручн}$
- ГК-ГА \rightarrow ГК

9. При проведенні перевірки автоматичного приходу ГК в стаке положення на нерухомій основі, відведення гіроблока від меридіана на

заданий кут виконується при вимкненому ГК таким чином:

- Корпус приладу ЦП встановити в площину географічного меридіана з похибкою не більше $\pm 0,5^\circ$ і зафіксувати.
- Зняти ковпак приладу ЦП і вручну відвести гіроблок за шкалою приладу ЦП на кут $90...95^\circ$ ($265...270^\circ$).
- Надіти ковпак приладу ЦП.

10. При проведенні перевірок ручне введення в ГК інформації про широту і швидкість виконується приладом ПУ поворотом перемикачів секцій LATITUDE, SPEED до положення, відповідного величині, що вводиться. Введення швидкості виконувати з урахуванням положення тумблера $v_{авт} - v_{ручн} \rightarrow v_{ручн}$.

11. Ввімкнення ГК для перевірки часу приходу в стає положення і інших перевірок проводиться таким чином:

- Переконавшись, що перемикачі в приладі ПУ знаходяться в положеннях, вказаних в п. 8. Для проведення подальших перевірок на нерухомій основі рекомендується перед ввімкненням встановити прилад ПУ по відміткам, нанесених на його корпусі, в площині географічного меридіана з похибкою не більше $\pm 0,5^\circ$ і зафіксувати.
- Ввімкнути джерело живлення 24 В постійного струму.
- Для запуску ГК встановити перемикач OFF-ON в положення ON. Записати час запуску. При ввімкненні на лицьовій панелі приладу ПУ спалахує світлоплан POWER і відображається значення 000,0 на табло HEADING. Приблизно через 6 сек на табло починає відображатися поточне значення курсу, відповідне азимутному положенню гіроблока щодо корпусу приладу ЦП.

12. Для перевірки часу автоматичного приходу ГК в стає положення на нерухомій основі виконати відведення гіроблока на 90° по методиці п. 9.

Ввімкнути ГК по методиці п. 11. Вести запис курсу через кожних 5 хв. протягом 1 години.

Вважається, що ГК прийшов в меридіан, якщо засвітиться зелений світлодіод READY приладу ПУ і подальші після цього відліки курсу знаходяться в межах $\pm 1,0^\circ$. Час з моменту запуску ГК до моменту загоряння світлодіода вважається часом автоматичного приходу.

13. Для перевірки сталої похибки (статичної похибки) в одному пуску переконавшись, що прилад ЦП встановлений в площині географічного меридіана (на курсі 0°) з похибкою не більш $\pm 0,5^\circ$, і надійно зафіксований. Після приходу ГК в стає положення, як вказано в п. 12, але не раніше, чим через 1 год після запуску, зняти з інтервалом 20 хв 10 відліків курсу приладу ПУ. По вказаних десяти відліках розрахувати сталий курс K_y по формулі:

$$K_{cm} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} K_i ,$$

де K_i - десять відліків курсу, знятих з інтервалом 20 мин.

Різниця між сталим курсом і курсом 0° (360°) вважається сталою похибкою ГК ΔK_{cm} .

Для кожного з десяти відліків K_i визначити значення різниці $\Delta K_i = K_i - K_{cm}$ і розрахувати середнє квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу - статичну похибку - в одному пуску по формулі:

$$\Delta K_{CK} = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (\Delta K_i)^2} .$$

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо стала похибка і середнє квадратичне значення різниць між окремими відліками і сталому курсом не перевищує значень, вказаних в п.1.3 ТВ.

14. Для перевірки стабільності сталої похибки від пуску до пуску ГК після визначення ΔK_{cm} при першому пуску вимкнути ГК, встановивши перемикач ON-OFF приладу ПУ в положення OFF і вимкнути джерело живлення.

Через проміжок часу не менше 12 год і не більше 7 діб ГК знову ввімкнути по методиці п.11 з відведенням гіроблока від меридіана на $90...95^\circ$ в сторону, протилежну відведенню в першому пуску і визначити значення ΔK_{cm} у другому пуску по методиці п. 13.

Потім ГК вимкнути і через проміжок часу не менше 12 год і не більше 7 діб знов ввімкнути з відведенням гіроблока від меридіана на $90...95^\circ$ в сторону, протилежну відведенню в другому пуску і визначити значення ΔK_{cm} у третьому пуску.

Максимальна величина значення ΔK_{cm} у трьох пусках вважається похибкою від пуску до пуску.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо нестабільність сталої похибки від пуску до пуску не перевищує значення, вказаного в п.1.3 ТВ.

15. Для перевірки похибки компенсації швидкісної похибки, після визначення по методиці п.13 сталою курсу K_{cm} на курсі 0° , в режимі ГК встановити на приладі ПУ по методиці п.10 швидкість 20 вуз. Через 3 год після введення швидкості почати знімання відліків курсу і визначити нове значення сталою курсу K_{cm} по методиці п. 13

Розрахувати похибку компенсації швидкісної похибки по формулі:

$$\Delta K_v = K'_{cm} - K_{cm} - \Delta K_p,$$

де: ΔK_p - розрахункове значення курсу (град.), розраховане по формулі:

$$\Delta K_p = -1,27 \sec \varphi \quad .$$

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо похибка компенсації швидкісної похибки не перевищує значення, вказаного в п.1.3 ТВ.

16. Для перевірки похибки на хитавиці і перевірки різниці показів репітерів встановити прилад ПУ на стенд типу "Скорсби", що коливається, так, щоб поздовжня вісь приладу, позначена відмітками на корпусі, співпадала з віссю бортової хитавиці стенду з похибкою не більше $\pm 1^\circ$. Платформа стенду повинна бути виставлена в горизонті з похибкою не більше $\pm 1^\circ$, а вісь бортової хитавиці стенду - в площині географічного меридіана на курсі 0 або 180° з похибкою не більше $\pm 1^\circ$.

Витримати прилад в режимі ГК не менше 3 год для визначення сталого значення курсу по методиці п.13. після чого зняти відліки курсу з приладу ПУ, визначити різницю показів і ввімкнути хитавицю з параметрами:

- бортова хитавиця - амплітуда $(20 \pm 2)^\circ$, період (10 ± 1) с;
- кильова хитавиця - амплітуда $(10 \pm 1)^\circ$, період (6 ± 1) с;
- рискання - амплітуда $(5 \pm 1)^\circ$, період (15 ± 1) с.

Через 25 хв зупинити платформу, виставити її в початкове положення по азимуту з похибкою не більше $\pm 0,25^\circ$, відгоризонтувати з похибкою не більше $\pm 1^\circ$ і відразу ж зняти відлік курсу. Визначити похибку на хитавиці як різницю між цим відліком і сталим курсом, визначеним до початку хитавиці.

Послідовно повторити визначення сталого курсу і похибки випробувань на хитавиці при установці стенду на курсах $(45 \pm 1)^\circ$, $(90 \pm 1)^\circ$, $(315 \pm 1)^\circ$.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо максимальна похибка на хитавиці не перевищує значення, вказаного в п. 1.3 ТВ, а різниця показів репітерів не перевищує значення, вказаного в п. 1.5 ТВ.

17. Похибка широтної корекції перевіряється таким чином:

17.1 Встановити по методиці п.10 широту 30 град. Визначити дрейф за годину Δ_1 .

17.2 Встановити по методиці п.10 широту 70 град. Визначити дрейф за годину Δ_2 .

17.3 Не змінюючи встановлену широту (70 град), встановити по методиці п.10 швидкість 30 вуз, визначити дрейф за годину Δ_3 .

17.4 Розрахувати похибку широтної корекції по формулах:

$$\delta_1 = \left(\frac{\Delta_2 - \Delta_1}{6,6} - 1 \right) \cdot 100\%;$$

$$\delta_2 = \left(\frac{\Delta_3 - \Delta_1}{8,0} - 1 \right) \cdot 100\%.$$

Значення $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ підставляються з урахуванням їх знаку (знак «+» відповідає дрейфу в бік збільшення курсу).

17.5 Встановити широту місця випробувань і нульову швидкість по методиці п.10.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо максимальна похибка широтної корекції не перевищує значення, вказаного в п.1.4 ТВ.

18. Для перевірки потужності, споживаної базовим модулем, підключити вольтметр і амперметр в ланцюг живлення ГК. Ввімкнути ГК по методиці п. 3.12 і не раніше, ніж через 25 хв, зняти покази вольтметра і амперметра. Розрахувати споживану потужність перемноженням показів вольтметра і амперметра.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо споживана потужність не перевищує значення, вказаного в п. 1.9 ТВ.

19. Для випробувань ГК на стійкість до зміни напруги суднової мережі (після визначення сталого значення курсу по методиці п.13 при номінальному значенні напруги суднової мережі) підвищити напругу на 10 % і зняти з інтервалом 20 хв 10 відліків курсу. Повторити випробування при пониженні напруги на 10 %.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо максимальне значення різниці між відліками курсу під час випробування і сталим значенням курсу до випробування не перевищує значення, вказаного в п. 1.7 ТВ.

20. Для перевірки часу автоматичного приходу ГК в стає положення на хитавиці встановити прилад ЦП на стенд типу "СКОРСБИ", що коливається, і виставити, як вказано в п.16 і потім відвести гіроблок на 90 ° по методиці п. 8. Ввімкнути хитавицю з параметрами:

- бортова хитавиця - амплітуда $(5 \pm 1)^\circ$, період (15 ± 1) с;
- кильова хитавиця - амплітуда $(5 \pm 1)^\circ$, період (6 ± 1) с.

Ввімкнути ГК по методиці п.11. Визначити час приходу в стає положення по методиці п.12.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо час приходу в стаке положення не перевищує значення, вказаного в п. 1.2 ТВ.

21. Для перевірки похибки на стенді гармонійних коливань відповідний стенд повинен бути виставлений на будь-якому курсі, кратному 45° , з похибкою в межах $\pm 3^\circ$. Прилад ЦП повинен бути встановлений на стенд і виставлений в горизонтальній площині з похибкою в межах $\pm 1^\circ$. Після визначення сталого курсу по методиці п.13 стенд привести в коливання з амплітудою горизонтальної складової прискорення $(1,0 \pm 0,1) \text{ м/с}^2$, з періодом не менше 3 с, тривалістю 2 год. Відліки курсу знімати через 20 хв без зупинки стенду. Похибку визначити по максимальній різниці між цими відліками і сталим значенням курсу до початку коливань. При цьому не враховуються будь-які зміни відліку курсу, що відбуваються з частотою, яка дорівнює або перевищує частоту коливань стенду.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо похибка на гармонійних коливаннях не перевищує значення, вказаного в п. 1.3 ТВ.

22. Для випробування на міцність при нахилі нахилити прилад ЦП в режимі ГК на кут 45° від горизонту по черзі навколо будь-яких взаємоперпендикулярних осей, витримуючи в кожному з похилих положень по 5 хв. Потім встановити прилад в горизонтальне положення і після витримки не менше 3 год визначити середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу по методиці п.13.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу не перевищує значення, вказаного в п. 1.11 ТВ.

23. Для випробувань на стійкість до підвищеної і зниженої робочої температури встановити прилади ГК в термокамері при нормальній температурі, запустити ГК і визначити сталий курс по методиці п.13. Потім температуру в камері підвищити до $+(55 \pm 3)^\circ\text{C}$, витримати ГК при цій температурі 3 год і записати відлік курсу. Знизити температуру в камері до мінус $(10 \pm 3)^\circ\text{C}$ (швидкість зміни температури не повинна перевищувати 45°C у годину), витримати ГК 3 год і записати відлік курсу. Підвищити температуру в камері до нормальної.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо максимальна різниця між показами, знятими при підвищеній і зниженій температурах, і сталим значенням курсу при нормальній температурі не перевищує значення, вказаного в п. 1.10 ТВ.

24. Для перевірки часу приходу в стаке положення при зниженій температурі встановити прилади ГК в термокамері, вручну відхилити гіроблок від меридіана приблизно на 90° , знизити температуру в камері до

мінус 10 °С і витримати ГК при цій температурі 3 год. Потім ввімкнути ГК по методиці п.11 (для натиснення на кнопку ON-OFF і для установки широти місця випробувань дозволяється короткочасно відкрити термокамеру). Визначити час приходу в стає положення по методиці п. 12.

ГК вважається таким, що витримав перевірку, якщо час приходу в стає положення не перевищує значення, вказаного в п.1.2 ТВ.

25. Для випробування на стійкість до зниженої температури встановити ГК в термокамері, знизити температуру в камері до мінус (60 ± 3) °С і витримати ГК при цій температурі 2 год.

Підвищити температуру до нормальної, витримати ГК 4 год, запустити і визначити середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім курсу в одному запуску по методиці п. 13.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу не перевищує значення, вказаного в п. 1.11 ТВ.

26. Для випробування на стійкість до підвищеної температури встановити ГК в термокамері, підвищити температуру в камері до $+(70 \pm 3)$ °С і витримати ГК при цій температурі 6 год. Знизити температуру до нормальної витримати ГК 6 год. Запустити ГК і визначити середньо- квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу в одному запуску по методиці п. 13.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу не перевищує значення, вказаного в п. 1.11 ТВ.

27. Для випробування на стійкість до підвищеної вологості встановити ГК в камері, підвищити за $(3 \pm 0,5)$ год температуру в камері до $+(40 \pm 2)$ °С, а потім підвищити вологість $(95...98)$ %. У вказаних умовах витримати ГК 10 діб.

Щодоби вмикати ГК на 1 год, після чого вимкнути.

Після закінчення витримки провести вимірювання опору ізоляції по методиці п.7. Вийняти ГК з камери і після витримки в нормальних умовах протягом 10 год провести зовнішній огляд і вимірювання опору ізоляції. Запустити ГК і визначити середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу в одному пуску.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо опір ізоляції в нормальних умовах і при підвищеній вологості задовольняють вимогам п. 1.13 ТВ, а середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім, значенням курсу не перевищує значення, вказаного в п.1.11 ТВ.

28. Випробування на стійкість і міцність до вібрації проводяться роздільно для приладів ЦП і ПУ таким чином:

28.1. Зафіксувати прилад ГК-1 на вібростенді, виставивши прилад на курс $(30 \pm 1)^\circ$ і передбачивши, при необхідності, екранування приладу від магнітного поля, що створюється вібростендом. Запустити ГК при вимкненому вібростенді і визначити значення курсу по методиці п. 13.

Провести випробування при вертикальній вібрації при частотах і амплітудах, вказаних в таблиці 2.

Табл.2. Параметри вібраційних випробувань

Частота, Гц	5-13,2	13,2-40	40-80
Амплітуда вібропереміщення, мм	1,6	-	-
Амплітуда віброприскорення, m/c^2 (g)	-	10(1)	10(1)

Випробування розпочати з найнижчої частоти, послідовно переходячи до вищих частот. Витримка на кожній частоті 25 хв. Перед переходом до наступної частоти зняти відлік курсу. Визначити похибку на вібрації, як максимальну різницю між цими відліками і сталим курсом, визначеним до початку вібрації.

28.2. Повторити випробування приладу ЦП при горизонтальній вібрації при двох напрямках вібрації:

під кутом $+(30 \pm 1)^\circ$ і під кутом мінус $(60 \pm 1)^\circ$ до меридіана.

28.3. Зафіксувати на вібростенді прилад ПУ. Запустити ГК при вимкненому вібростенді і визначити стале значення курсу по методиці п. 13.

Провести випробування при вертикальній вібрації в діапазонах частот: від 5 до 13,2 Гц з амплітудою 1,6 мм; 13,2 до 40 Гц з прискоренням $10 m/c^2$; від 40 до 80 Гц з прискоренням $10 m/c^2$. Час проходження кожного діапазону 25 хв. Перед переходом до наступного діапазону зняти відлік курсу. Визначити похибку аналогічно п.13.

28.4. Повторити випробування ПУ при горизонтальній вібрації в двох будь-яких взаємноперпендикулярних площинах.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо відсутні механічні пошкодження, а максимальна різниця між відліками, знятими під час вібрації і сталим курсом, визначеним до початку вібрації, не перевищує значення, вказаного в п.1.10 ТВ.

29. Для випробувань на стійкість до удару зафіксувати прилади ГК в робочому положенні на ударному стенді. Запустити ГК при вимкненому стенді і визначити стале значення курсу по методиці п. 13.

Піддати ГК ударам з піковим ударним прискоренням 100 м/с^2 при тривалості ударного імпульсу $5...10$ мс. Загальне число ударів 1000 при частоті від 40 до 80 ударів за хвилину. Відразу після закінчення випробування зняти відлік курсу.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо відсутні механічні пошкодження, а різниця між відліком, знятим у момент закінчення випробувань, і сталим значенням курсу, визначеним до початку випробувань, не перевищує значення, вказаного в п. 1.10 ТВ.

30. Перевірка ступеня захисту приладів проводиться по методиці ГОСТ 14254. Під час випробувань прилади повинні бути відімкненні від джерел живлення і встановлені в робочому положенні.

Після випробувань провести зовнішній огляд і заміряти опір ізоляції по методиці п.7.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо ступінь захисту приладів відповідає вказаному в п. 1.14 ТВ, а опір ізоляції не менше значення, вказаного в п. 1.12 ТВ.

31. ГК випробовувати на безвідмовність одноступінчатим методом з обмеженим числом відмов. Випробування проводити в режимі ГК з ввімкненою інтегральною корекцією при чергуванні роботи на хитавиці протягом 8 год з роботою на нерухомій основі протягом 848 год. При ризиках постачальника і замовника $\alpha = \beta = 0,05$ граничному числі відмов $\tau_{ep} = 1$ і приймальному рівні середнього напрацювання на відмову $T_{\alpha} = 12000$ год тривалість випробувань по ГОСТ 27.410 приймається $t_{max} = 625$ год з урахуванням часу роботи ГК при перевірках і випробуваннях по пп. 3...9 табл. 2 і пп. 1...12 табл. 3

Контроль технічного стану здійснювати зняттям відліків курсу: на хитавиці - через кожних 2 год, на нерухомій основі - не рідше за один раз на добу протягом 3 год з інтервалом 20 хв, визначаючи середньо квадратичне значення різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу по методиці п. 13.

Критерій відмови - перевищення середнім квадратичним значенням різниць між окремими відліками курсу і середнім значенням курсу значення $\pm 0,25 \text{sec} \varphi$.

При виявленні відмови зафіксувати час, ознаки прояву відмови, умови роботи виробу і класифікувати відмову. До відмов, що не враховуються, відносять несправності окремих пристроїв, що не впливають на працездатність ГК в цілому і на оцінюваний показник, несправності елементів контролю і сигналізації, конструктивні відмови, якщо їх причина встановлена і ухвалено рішення про коректування документації.

ГК вважається таким, що витримав випробування, якщо за час t_{\max} не зафіксовано відмови, що враховується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ригли У., Холлистер У., Денхард У. Теория, проектирование и испытание гироскопов. М.: Мир, 1972.- 416с.
2. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. Учебник для вузов.- М.: Высшая школа, 1991.-336с.
3. Titterton D., Weston J., Strapdown Inertial Navigation Technology - 2nd Edition, Institution of Electrical Engineers ,UK, 2004 -558 p.
4. IEEE Recommended Practice for Inertial Sensor Test Equipment, Instrumentation, Data Acquisition and Analysis, IEEE Std 1554, N.Y.,USA -2005.
5. Малинский В.Д., Бегларян В.Х., Дубицкий Л.Г. Испытания аппаратуры и средств измерений на воздействия внешних факторов: Справочник.-М.: Машиностроение, 1993.-576с.
6. Автоматизированные испытания в авиастроении /Р.И. Адгамов и др.-М.: Машиностроение, 1989.-232с.
7. Испытательная техника: Справочник/ под ред. В.В. Ключева в 2-х кн.-М.: Машиностроение, 1982. кн. 1-528с., кн. 2-560с.
8. Бегларян В.Х. Механические испытания приборов и аппаратов.- М.: Машиностроение, 1980.-223с.
9. Бегларян В.Х. Климатические испытания аппаратуры и средств измерений.-М.: Машиностроение, 1983.-156с.
10. www.acutronic.com
11. <http://www.npro-nauka.ru/frames/ik1.html>
12. Гироскомпас. Патент Российской Федерации № 2000542 от 3.12.91
13. Гироскомпас. Патент України № 843 від 30.04.93.
14. Гироскомпас. Патент України на промисловий зразок № 302 від 15.10.93
15. www.centeradc.ru
16. <http://www.laboratorio.elettrofisico.com>
17. Helmholtz coil system. Manual . -EMC Test Systems, 2001.- 15 p.
18. Гироскопия и навигация, №2(41), 2003-ЦНИИ «Электроприбор», СПб, с.7
19. Model 9790-BVR Scorsby Motion Test Table. -<http://ideal-aerosmith.com>
20. <http://www.climats-tec.com>