

3. ИЗПИТВАНЕ НА МЕИ НА ВЪЗДЕЙСТВИЯ ОТ ОКОЛНАТА СРЕДА

3.1. Цел и предназначение на изпитванията на МЕИ

За разлика от другите показатели на качеството (технически, тактически, технологични, ергономични и др.), които могат да бъдат оценени и измерени за кратко време, оценката на надеждностните показатели изисква изразходване на част от ресурса, а понякога разрушаването и пълното амортизиране на изпитваните изделия. При изпитването възникват проблеми, свързани с определянето и нормирането на показателите, формулирането на понятието отказ, съставянето на оптимален план.

Проблемът за експерименталното изследване на надеждността на МЕИ е твърде сложен и отговорен. Решаването му изисква комплексен подход, обединяващ система от методи, които са взаимно свързани. Например такива могат да бъдат аналитично пресмятане и експеримент, експеримент и моделиране, сравнителен анализ на технологията, на производство и на резултатите от експлоатацията и т.н. Другата страна на проблема има методологически характер и изисква въвеждането на унифицирани методики за провеждане на изпитванията на надеждност.

Между т.нар. зададена, разчетна (прогнозна), демонстрирана и експлоатационна надеждност на едно и също микроелектронно изделие съществуват големи разлики. Във връзка с това натурният експеримент дава най-обективна оценка за достигнатото ниво на надеждността.

Трудностите свързани с определянето на фактическото ниво на надеждностните показатели на МЕИ изискват спазването на някои основни правила. Най-важните от тях се състоят в следното:

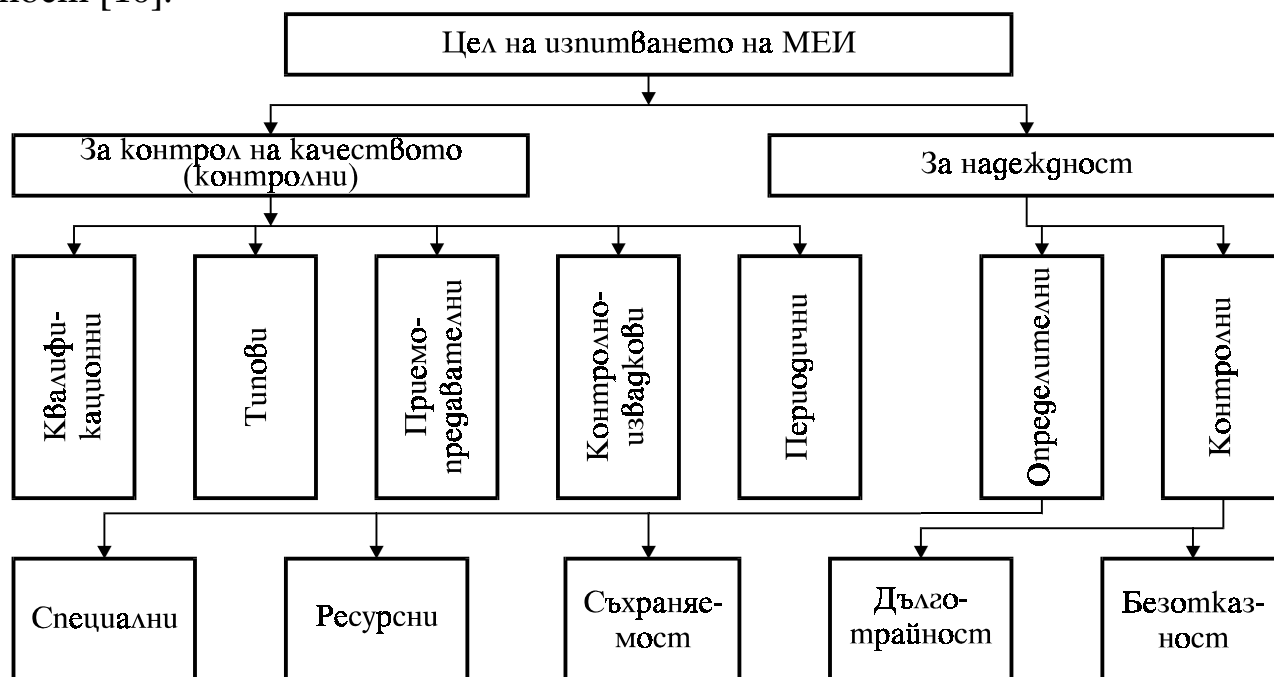
— осигуряване на режими и условия за изпитване, които да са максимално близки до експлоатационните;

— ясна и еднозначна формулировка на понятието отказ за конкретното изделие, без да се намесват техническата и оперативната му надеждност;

— да не се изискват висока достоверност и точност на експерименталните оценки, при зададени високи надеждностни показатели.

Изпитванията могат да се осъществяват в лабораторни и експлоатационни условия. А в зависимост от предназначението им (фиг. 3.1) могат да бъдат — за контрол на качеството и изпитване за надежд-

ност [10].



Фиг. 3.1. Видове изпитвания на микроелектронни изделия според предназначението.

Най-обща класификация на изпитванията на МЕИ е представена на фиг. 3.2.

Контролните изпитвания на надеждност (КИН) дават детерминирана оценка на надеждностните показатели. Така вероятността за вземане на правилно решение за съответствие (или несъответствие) на контролираните показатели за надеждността (или за качеството) зависи от фактическото ниво на показателите и приетите стойности на грешките.

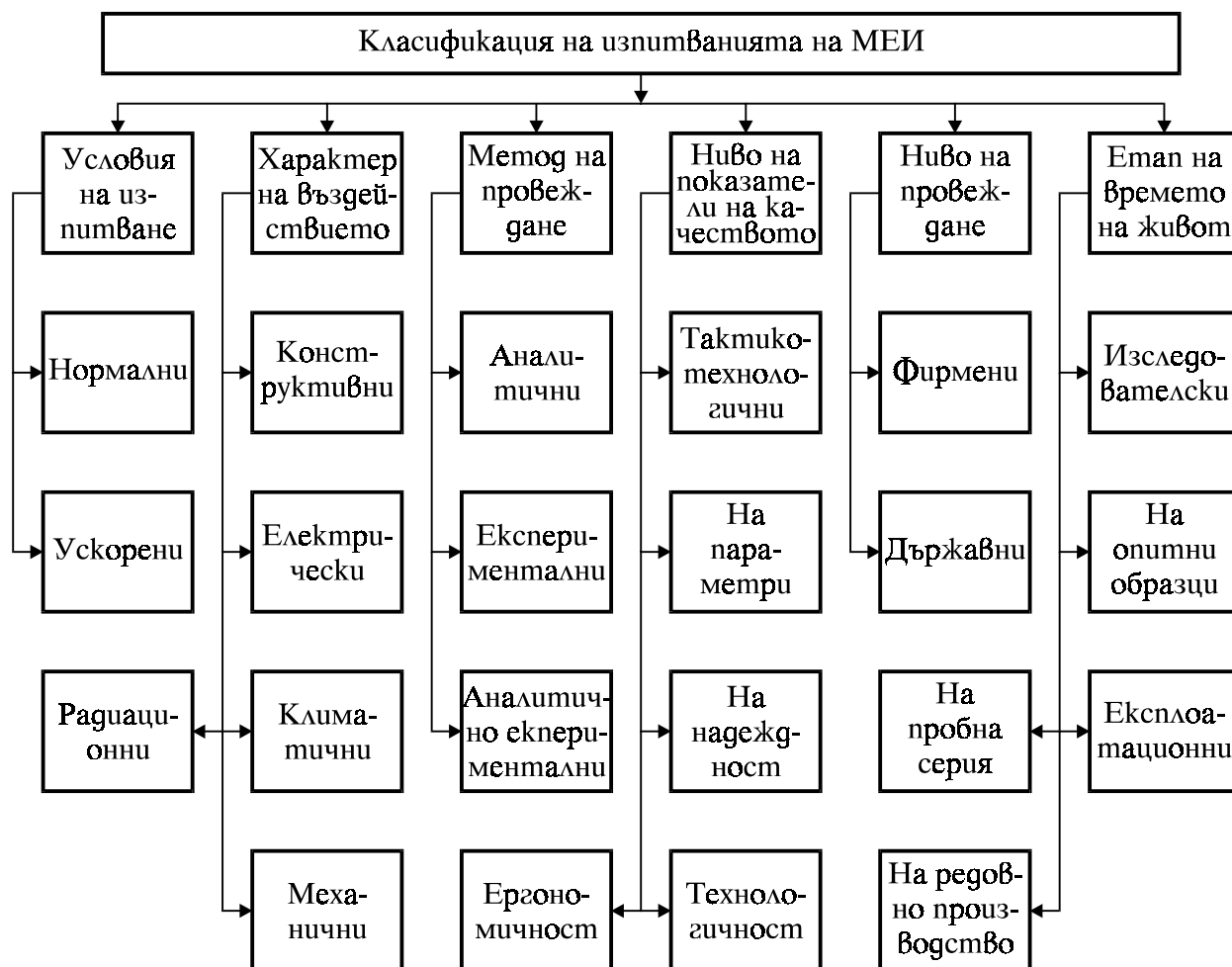
Определителните изпитвания за надеждност (ОИН) имат за цел получаването на количествената оценка на контролираните по време на експеримента показатели. С тези изпитвания се определят точковите и граничните стойности на надеждностните показатели. За получаването на тези стойности е необходима по-голяма по обем информация, а следователно и по-продължителни изпитвания.

Изпитванията за безотказност контролират безотказността на МЕИ за време, достатъчно за проявяване на дефекти, които са възникнали в процеса на изготвяне и водят до откази.

Изпитванията за дълготрайност са необходими за потвърждаване на установената в нормативната документация стойност на минималната отработка.

Изпитванията за безотказност и дълготрайност са КИН и се провеждат през етапите на разработка и серийно производство на МЕИ.

Ресурсните изпитвания се явяват или продължение на изпитванията за дълготрайност, съхраняемост или са самостоятелни. Провеждат се за определяне или оценка на техническия ресурс на МЕИ на етапа на опитно-конструкторска разработка и при модернизация на конструкцията или технологията. На тяхна база се приема решение за подобряване на качеството и повишаване на надеждността.



Фиг. 3.2. Класификация по различни признаци на изпитванията на микроелектронни изделия.

Специалните изпитвания имат за цел да се определи интензивността на отказите на МЕИ. На такива изпитвания се подлагат типовете МЕИ, които имат еднакво функционално предназначение и конструктивно-технологично изпълнение.

Ресурсните и специалните изпитвания служат за основа при статистическо определяне на количествените показатели за надеждност на МЕИ и затова са ОИИ. Резултатите от тези изпитвания не са основа за бракуване на партидите от изделия.

Изпитванията за съхраняемост се провеждат за потвърждаване на установения в стандартите за МЕИ гама-процентен срок за съхраняване. Те позволяват да се натрупа информация за техническия ресурс по съхраняемост, да се разработят препоръки по повишаване на съхраняемостта и да се уточнят нормите на срока за съхраняване.

Особено място в производството на МЕИ заемат тъй наречените *технологични изпитвания*, чиято цел е своевременно бракуване на потенциално ненадеждните МЕИ.

Според характера на въздействието изпитванията на МЕИ се делят на:

Конструктивни изпитвания — за изпитване на конструкцията на МЕИ както като цяло, така и на отделните и възли.

Радиационните изпитвания понякога се отнасят към специалните (когато се разглеждат от позициите на изпитвания, имитиращи работата на изделията в специални условия на експлоатация) и се провеждат чрез облъчване на МЕИ със зададена доза лъчения.

Най-голям интерес от ОИИ представляват:

— *граничните изпитвания*, които се провеждат за определяне на зависимостите между максимално допустимите и експлоатационните стойности на параметрите на МЕИ;

— *сравнителните изпитвания* на два или повече типа изделия се провеждат при идентични условия за сравняване на характеристиките им;

— *ускорени изпитвания* — методите и условията на провеждането им осигуряват получаване на необходимия обем информация в по-кратък срок, отколкото в предвидените условия и режими на експлоатация.

Към групата на КИИ се отнасят такива изпитвания като:

— *приемо-предавателни изпитвания* — провеждат се при входящ контрол на качеството на всяка партида МЕИ. На такива изпитвания се подлагат изделията или от цялата партида, или част от тях в зависимост от това дали изпитванията са разрушаващи или не са такива.

— *периодични изпитвания* — провеждат се при извършване на периодичен контрол на качеството на МЕИ и за проверка на стабилността на технологичния процес при изготвянето им. Те включват изпитвания, които изразходват част от ресурса (изпитване на термоцикли, на повишена температура, многократни удари, вибрации и т.н.), затова са винаги извадкови;

— *типови изпитвания* — провеждат се след внасяне на изменения в конструкцията или технологията на изделието с цел оценка на ефек-

тивността и целесъобразността на тези изменения. Те се отнасят към разрушаващите изпитвания;

— *квалификационни изпитвания* — провеждат се по определена програма за оценка на готовността на производството за даден тип МЕИ;

Освен изпитванията, провеждани от производителя МЕИ могат да се подложат на проверка при входящ контрол от потребителя. Режимите на изпитване, измервателната и изпитвателната апаратура и стендове трябва да са аналогични на тези на производителя.

За осигуряване на висока надеждност на МЕИ трябва да се въвежда входящ контрол и на полуфабрикатите, химическите реактиви и материалите, използвани при тяхното производство.

3.2. Обща методология на климатичните изпитвания

3.2.1. Последователност на провеждане на изпитванията

Задължително условие за получаване възпроизводимост на резултатите от изпитването е да се извършва пълно и точно описание, изключващо всяка неопределеност при тълкуване.

Изпитването на МЕИ може да се представи като последователност от следните операции (етапи):

1) *Стабилизиране свойствата на изделията, извършване на външен оглед и измерване на параметрите им.*

Тези операции се провеждат в нормални климатични условия, за отстраняване или неутрализация на въздействията от предишните условия. Продължителността на престой при посочените условия се определя от времето, достатъчно за установяване на топлинно равновесие с околната среда. Обикновено за МЕИ то не превишава 2 часа.

2) *Установяване на МЕИ в камера за изпитване, извършване на изпитването при съответния режим, изваждане от камерата и възстановяване на изделията (стабилизация на свойствата им).*

При поставяне на изделията в камерата трябва да се осигурява свободна циркулация на въздуха между изделията и между стените на камерата и изделията. Начина на поставяне и положението на МЕИ в камерата са от значение за осигуряване на възпроизводимост на резултатите от изпитването. Ако при експлоатация са възможни няколко положения на МЕИ то се избира това, при което изпитването е най-тежко. Металните части на различните приспособления за разполагане на изделията трябва да са с антикорозионни покрития. Ако се налага из-

делията да са електрически натоварени се използват помощни платки, касети, държатели и др.

Възпроизводимостта на резултатите от изпитването зависи от точността на поддържане на зададените параметри на режима на изпитване.

3) Заключителни измервания на параметрите и външен оглед на изделията.

Първоначалните и заключителните измервания на параметрите на изпитваните изделия се изпълняват при едни и същи стойности на температурата и влагата на околната среда.

Режимите, условията и видовете климатични изпитвания на МЕИ се определят от условията на експлоатацията им [5].

Климатични изпитвания се провеждат в етапите на разработка (ОИИ), при усвояване на МЕИ в серийно производство, през време на производството им за бракуване на потенциално ненадеждните изделия (технологични изпитвания), при контрол на стабилността на производството (периодични). Обемът на климатичните изпитвания обхваща до 50% от целия обем провеждани изпитвания при производството на МЕИ.

3.2.2. Видове климатични изпитвания

МЕИ се използват в ЕА, която се експлоатира в различни климатични условия. Практически е трудно при изпитване да се имитират възможните условия на експлоатация. Затова се прилага определен комплекс стандартни климатични изпитвания [38]. Прости и универсалните не имитират реалните условия, но позволяват да се получи информация в твърде къси срокове. Това се постига за сметка на увеличаване на натоварването и на тяхната продължителност.

Климатичните изпитвания се делят на три групи:

1) Изпитвания задължителни за всички изделия:

- изпитване на циклично изменение на температурата;
- изпитване на влагоустойчивост;
- изпитване на студоустойчивост;
- изпитване на топлоустойчивост.

2) Изпитвания, задължителни само за някои изделия (в зависимост от приложението им):

- изпитване на въздействие на роса ;
- изпитване на въздействие на солена (морска) мъгла.

3) Незадължителни изпитвания:

- изпитване на въздействие на гъби и плесени;
- изпитване на въздействие на прах и пясък;
- изпитване на слънчева радиация.

Видовете основни климатични изпитвания на МЕИ и данните за провеждането им в различните етапи на разработка на изделията са дадени в табл. 3.1.

В практиката се прилагат следните сложни видове климатични изпитвания:

- *комбинирани*, когато изделието се подлага едновременно на въздействието на няколко фактора — например при въздействие на повишена температура и понижено атмосферно налягане;

- *съставни*, когато МЕИ се подлагат на въздействието на различни климатични фактори в определена последователност. Тази последователност се обуславя от целта на изпитванията.

Табл. 3.1. Основни климатични изпитвания на МЕИ

Видове изпитвания	Технологични изпитвания	Разработка и внедряване	Контрол на стабилността на производството
Термоцикли	да	да	да
Топлоустойчивост	да	да	да
Студоустойчивост	да	да	да
Влагоустойчивост	да	не	да/не
Повишено налягане	да	не	да/не
Понижено налягане	да	не	да/не
Слънчева радиация	да	не	не
Гъбоустойчивост	да	не	не
Мъгла и роса	да	не	не

Най-висока ефективност и информативност при климатичните изпитвания се постига, когато последователността им на следване се подчинява на принципа всяко следващо да усилва ефекта на предшестващото изпитване.

Простите изпитвания се провеждат както за отделни извадки, така и последователно за една извадка. Продължителните изпитвания на влагоустойчивост, солена мъгла, устойчивост на плесен се провеждат на отделни извадки на МЕИ.

Изпитване на топлоустойчивост. Това изпитване се провежда за определяне устойчивостта на параметрите на МЕИ на действието на високи температури. В зависимост от материала на корпуса, типа на технологията и целта на процедурата за изпитването се задават

температури от реда: 40; 50; 70; 85; 100; 125; 155; 200; 250; 315 °C. Изделията се поставят в термокамери с установена висока температура. Времето на изпитване се определя от необходимото време за пълното подгряване на изделието и времето, за което то трябва да се съхранява при високата температура. Това време може да бъде взето от реда: 2; 16; 72; 96 часа. Изпитването се използва за отстраняване на потенциално ненадеждни МЕИ или за стабилизация на технологичните, електрическите и механичните параметри на изделията.

Изпитване на студоустойчивост. Провежда се в условията на въздействие на ниски температури. За установяване на изделията в камерите трябва да се използват материали с висока топлопроводимост. Продължителността на изпитване се избира от реда посочен горе. Температурата се избира според степенята на натоварване: -10; -25; -45; -60 °C. Провеждат се измервания на същите параметри, както при предишното изпитване.

Изпитване на циклично изменение на температурата (термоцикли). Целта на изпитването е да се определи способността на изделието да издържи на бърза смяна на висока с ниска стойност на температурата. Общият брой цикли се посочва в документацията на изделието. Всеки цикъл се състои от два етапа. Първоначално изделията се поставят в студената камера, а след това в горещата, съответно при температури зависещи от желаното натоварване. Престояват по 30 минути във всяка от камерите или се избира друга продължителност, която се определя от необходимото време за достигане на топлинно равновесие. Това време зависи от обема на МЕИ и от материалите на корпуса му. Времето на пренасяне на изпитваните изделия от едната в другата камера не трябва да превишава 5 минути.

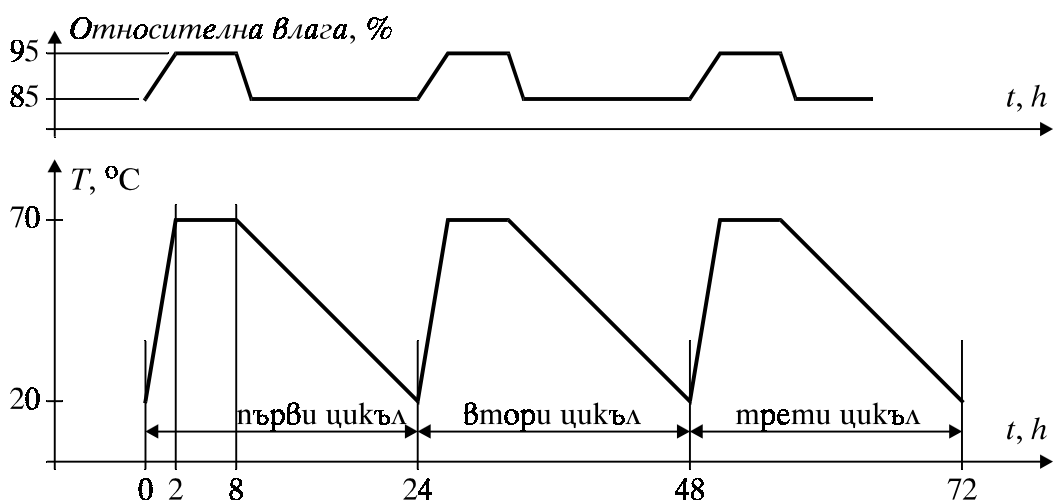
Изпитване на влагоустойчивост. Различават се два вида изпитвания на влагоустойчивост: продължителни и кратки. Първите се провеждат, за да се определи способността на МЕИ да запазят своите параметри в условията и след продължително въздействие на влагата. Второто има за цел оперативно да се проявят груби технологични дефекти, които биха могли да възникнат при предходни изпитвания. Два вида изпитвания могат да се провеждат в цикличен (с кондензация на влагата) или в непрекъснат (без кондензация на влагата) режими.

Цикличният режим на изпитване се характеризира с въздействие на повишена влага при циклично изменение на температурата (в съответствие с графиката на фиг. 3.3). Това ускорява корозионните процеси в МЕИ. Изпитването е много ефективно за МЕИ с пластмасови, металостъклени и металокерамични корпуси със свободен обем.

В случай на продължително изпитване за влагоустойчивост при цикличен режим се избират времена от реда: 4, 9, 21 часа.

При кратките изпитвания в цикличен режим се изпълняват 2 или 6 цикъла, продължителността на които е 24 часа. Може да се избере и друг брой на циклите в зависимост от конструкцията и предназначението на МЕИ.

Непрекъснатите изпитвания се провеждат при постоянна температура и влага в камерата. Изделията се поставят в камера и престояват докато достигнат до температурно равновесие. След това относителната влажност на въздуха в камерата се повишава до $95 \pm 3\%$ и се поддържа постоянна докато продължава изпитването. При тях не се предвижда кондензация на влагата.



Фиг. 3.3. Цикличен режим на изпитване на влагоустойчивост.

По аналогичен начин се провеждат и кратките изпитвания на МЕИ при непрекъснат режим. Продължителността на изпитването може да се избере от реда: 2, 4, 6 или 10 денонощия.

Изпитване на понижено и повишено атмосферно налягане. То се провежда с цел да се определи способността на МЕИ да изпълняват своите функции в условията на влошено топлоотдаване и прегряване. Зависимостта на налягането от температурата се дава с формулата:

$$P = P_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right), \quad (3.1)$$

където P_0 е налягането на газа в Pa при температура 0°C ; t — температурата на околната среда в $^\circ\text{C}$.

На изпитване при нормална температура се подлагат тези изделия, които се нагряват при експлоатация или които не са

подложени на въздействието на понижено налягане. При максимална стойност на температурата се изпитват изделията, за които нагряването, което е нормирано за понижено налягане е критично. В този случай изделията се изпитват при електрическо натоварване. Продължителността на изпитване не превишава 30 минути. В отделни случаи може да достигне и повече от 2 ÷ 3 часа.

Изпитването за въздействие на повишено налягане на въздуха или на друг газ се провежда без електрическо натоварване на изделието по време на изпитването.

Изпитване на устойчивост на гъби и плесени. Преди изпитването повърхността на изделията внимателно се обработва със спирт. Изделията се поставят в камера за образуване на гъби. Осигурява се питателна среда за гъбите в специални Петри-съдове. Изделията и контролните Петри-съдове се напръскват равномерно с пулверизатор с водна суспензия на спори на гъби (50 ml на 1m³ полезен обем). Препоръчва се да се работи с изделия, които не са преминали през други изпитвания. След това в камерата се установява температура 302 ± 2 °K и относителна влажност 95 ± 3 % при отсъствие на циркулиращ въздух. Така изделията престояват 30 денонощия, след което се извършва визуален контрол под микроскоп.

3.3. Механични изпитвания

Способностите на МЕИ да изпълняват своите функции в условията на вибрации, ударни, линейни и акустични шумове, се наричат съответно механична устойчивост и механична якост (здравина). В съответствие с установените основни видове механични фактори, въздействащи на МЕИ се извършва и класификацията на механичните изпитвания [19]. Различават се следните видове механични изпитвания:

- на виброустойчивост и на виброякост;
- на ударна якост и устойчивост;
- на въздействие на линейни (центробежни) натоварвания;
- на въздействие на акустични шумове.

Изпитването на ударна устойчивост обикновено се провежда с изпитването на ударна якост, а изпитването на виброустойчивост — с това на виброякост.

По време на механичните изпитвания се определят механичната якост и устойчивост, отсъствието на резонансни честоти в обхвата на честотния спектър на действащите вибрации.

Предназначението, физическите свойства на МЕИ, както и взаимодействието между различните видове механични въздействия определят в значителна степен избора на вида на механичното изпитване. Броят на изпитванията трябва да е по възможност минимален, но достатъчен за проверка на качеството и надеждността на изделията. Няма смисъл да се провеждат дублиращи изпитвания, като например единичен удар и линейно ускорение, вибрация и многократен удар. След приключване на механичните изпитвания се контролира външния вид на изделието и основните му електрически параметри.

Изпитването на въздействие на акустичен шум допълва изпитването на въздействие на вибрации. То позволява да се проявят тези дефекти, които остават скрити при вибрациите, поради влияние на амортизиращите свойства на конструкцията на изделието.

При избиране на съчетания на натоварването при механични изпитвания главно значение имат вибрациите и единичния удар. Останалите видове механични изпитвания представляват по-малък интерес.

Механичните изпитвания при въздействие на ускорение се провеждат в три взаимно перпендикулярни направления за вибрационните натоварвания и в шест — спрямо трите оси за ударни и линейни натоварвания.

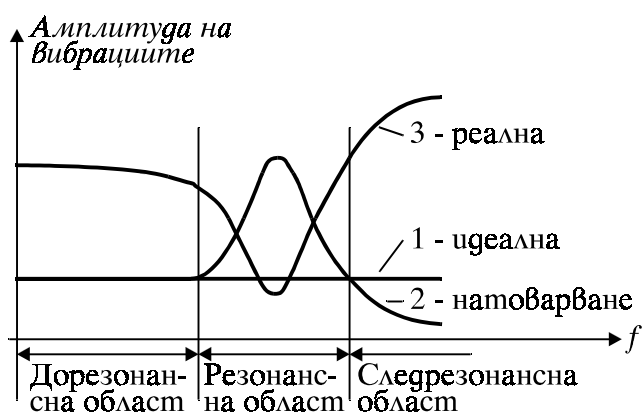
Механичните изпитвания се провеждат при нормални климатични условия. Допуска се повишаване на температурата на околната среда при вибрационни изпитвания. Това произтича от факта на отделяне на топлина от стенда и изделията.

Изпитване на виброустойчивост и на виброякост. Надеждната работа на МЕИ се осигурява при наличие на конструктивни запаси (по виброякост, виброустойчивост, резонансна честота и др.). Конструктивният запас по резонансна честота се оценява с коефициента:

$$K_c = \frac{f_0}{f_2}, \quad (3.2)$$

където f_2 е горната честота на работния обхват; f_0 е най-ниската резонансна честота на изследваното изделие.

Механичното напрежение, предизвикано от вибрационното въздействие е обратно пропорционално на резонансната честота на изделието.



Фиг. 3.4. Характеристика на устойчивостта при изпитване на МЕ изделия при въздействие на вибрации.

На фиг. 3.4. са показани характеристики на устойчивостта при изпитване на МЕ изделия при въздействие на вибрации. Изпитването на виброустойчивост и виброякост може да се изпълни по един от следните методи:

- на променяща се (колебателна) честота;
- на фиксирана честота;
- на случайни вибрации.

Основното условие за избор на най-рационален метод на из-

питване е познаването на резонансните честоти на изделието. Тези честоти се определят на стадия на неговата разработка с аналитични зависимости или се определят чрез сравнение на конструкцията на изделието с аналогични, чийто резонансни честоти са известни.

Методът на променяща се честота е основен при изпитване на виброустойчивост и виброякост. Честотата на колебание при него се изменя в зададен обхват като се колебае от минималната до максималната стойност и обратно. Така последователно се възбуждат резонансите на изделието. За да се запазва постоянна амплитудата на ускорение на вибрациите е необходимо с изменение на честотата да се променя амплитудата на преместване на поставката на вибростенда. С изменение на честотата f (по експоненциален закон) се мени и амплитудата A на преместването:

$$f = f_1 e^{kt}, \quad (3.3) \text{ където}$$

f е честотата на вибрации в момент t в Hz , f_1 — ниската честота на работния обхват, Hz , k е показател, който характеризира скоростта на колебание на честотата.

Скоростта на изменение на честотата при това изпитване се избира така, че:

$$t_{\Delta f} \geq t_r \quad (3.4)$$

$$t_{\Delta f} \geq t_s, \quad (3.5)$$

където $t_{\Delta f}$ е времето за изменение на честотата в резонансната честотна лента на изпитваното изделие, а t_r и t_s са съответно времената на нарастване на амплитудата на вибрациите и времето за окончателно установяване на измерващия или регистриращия уред.

Времето за нарастване на амплитудата на вибрациите на изделието при резонанс до установената стойност се определя от формулата:

$$t_r \approx k_1 \frac{Q}{f_0}, \quad (3.6)$$

където f_0 е резонансна честота, Hz , Q — качествен фактор на изделието; k_1 — коефициент, отчитащ увеличаването на времето на нарастване на амплитудата на изделието в резултат на нелинейно изменение на амплитудата. Коефициентът k_1 се избира да е равен на $2 \div 3$.

Скоростта на изменение на честотата при изпитване се дава с:

$$v = \frac{200 \lg\left(\frac{2Q+1}{2Q-1}\right)}{t_{\Delta f}}, \quad (3.7)$$

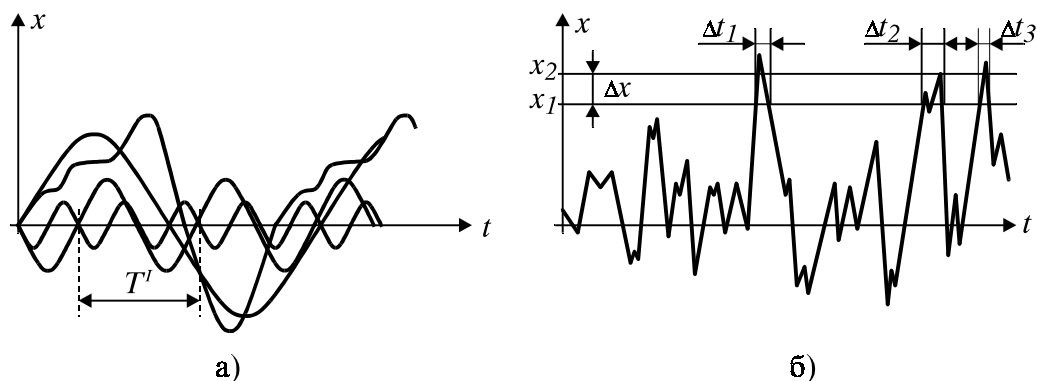
където $t_{\Delta f}$ се избира в съответствие с (3.4) и (3.5).

От фиг. 3.4 се вижда, че изпитването е необходимо да се проведе в резонансната област, където натоварването превишава допустимото.

За разлика от изпитването на виброустойчивост това на виброякост се провежда при повече от един цикъл на разколебаване на честотата. Броят на циклите се избира в зависимост от степента на натоварване и може да достигне до 30. Ако резонансните честоти на изпитваното изделие са известни, то за да се съкрати времето и обема на изпитванията може да се проведе ускорено изпитване по указани в стандартите методи [38].

Методът на фиксирани честоти се използва само в случаите, когато методът на променяща се честота не може да се реализира. Този метод не може напълно да оцени устойчивостта на изделието към въздействието на вибрации.

В реални условия на експлоатация върху изделията въздействат вибрации с широк спектър от честоти (фиг. 3.5).



Фиг. 3.5. Периодична — (а) и случайна — (б) вибрации.

Изпитване на случайна вибрация. Това изпитване се извършва по два метода:

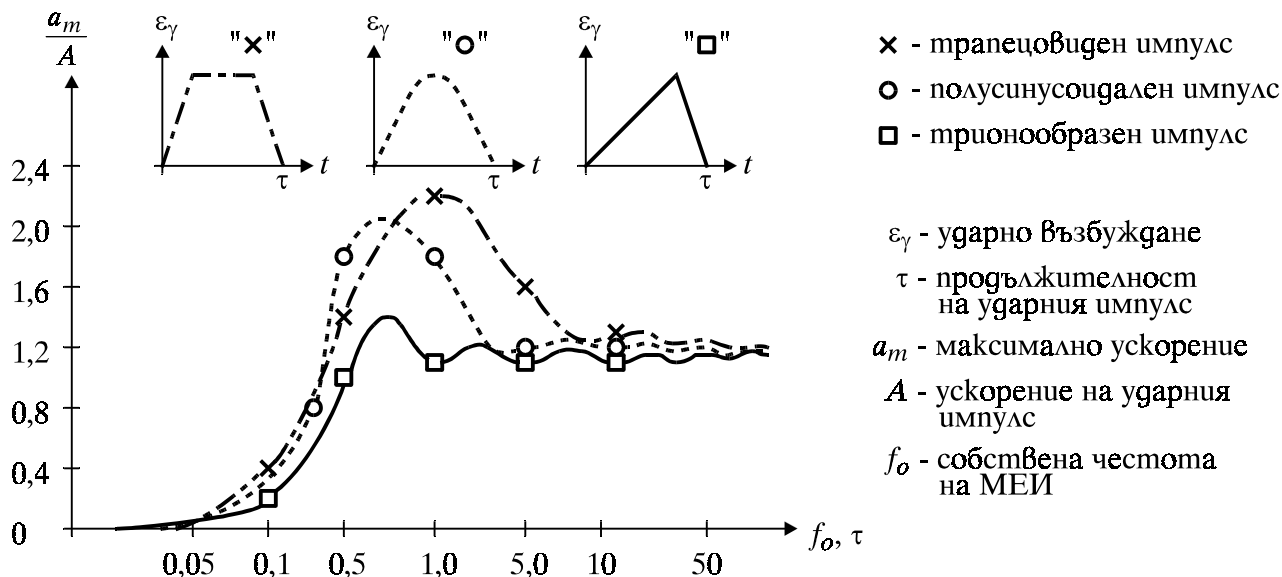
- широколенцова вибрация;
- тесноленцова вибрация със сканиране на честотната лента.

Методът на широколенцова вибрация предвижда концентриране на енергията на всички хармонични съставлящи на колебателния процес. Затова на изделието се подават колебания с честотна лента на „бял шум“. Така всички резонанси се възбуждат едновременно. Този метод се доближава максимално до реалните условия на експлоатация, но за провеждането му е необходимо скъпо оборудване и често той е недостъпен. В този случай се използва *методът на тесноленцова вибрация със сканиране на честотната лента*. При него случайната вибрация се възбужда в тясна честотна лента, централната честота на която се сканира бавно по експоненциален закон в диапазона на честотите в процеса на изпитване.

Изпитване на ударна якост и устойчивост. Различават се два вида изпитвания:

- многократно въздействие на удари;
- въздействие на единичен удар с голямо ускорение.

За *многократно въздействие на удари* изпитванията се провеждат при въздействие на удари последователно и по равно във всяко от направленията на изпитването. Тези направления се избират в зависимост от конкретните свойства на МЕИ. Ако свойствата на изделието не са известни се препоръчва изпитването да се провежда в три взаимно перпендикулярни направления. Честотата на ударите се избира между 40 и 120 удара на минута. Ускорението, продължителността на ударите и общият им брой се избират в зависимост от степента на натоварване при изпитването. При това изпитване се избира такава продължителност на удара, която да предизвиква резонансно възбуждане на изделието.



Фиг. 3.6. Ударни спектри на различни видове изпитвателни удари.

Изпитване на въздействие на единичен удар. При него ускорението се избира от реда: 4; 20; 75; 100; 500; 100; 1500; 3000 g, а продължителността на удара от 0,2 до 60 μ s в зависимост от степента на натоварване.

Формата на ударния импулс е една от най-важните характеристики и се регламентира в ТД (фиг. 3.6). Най-опасен за МЕИ е ударен импулс с трапецовидна форма, но такава форма трудно се възпроизвежда от оборудването. На практика се използва полусинусоидална форма. Ударен импулс с триънообразна форма позволява получаването на най-добра възпроизводимост на изпитванията, но се формира трудно.

Изпитванията на устойчивост на удар се препоръчват да се провеждат след изпитване на ударна якост.

За разлика от изпитването на ударна якост, изпитването на ударна устойчивост се провежда при електрическо натоварване. Проверката на параметрите на МЕИ се осъществява в процеса на удара, за да се оцени работоспособността им и появяването на лъжливи сработвания. Изпитването на удароустойчивост се провежда или при въздействие на единичен удар, или при многократно въздействие на удари. В последния случай се избира честотата на ударите да бъде такава, че да е възможен контрол на параметрите на изделието.

Изпитване на въздействие на линейни натоварвания. С това изпитване се оценява способността на МЕИ да изпълнява своите функции в процеса на въздействие на линейни (центробежни) натоварвания и (или) да се противопоставя на разрушаващите им действия. Поради трудност при изпълнение на изпитването на въздействие на центробежно

ускорение, то се извършва без електрическо натоварване на изделията. За ускоренията могат да се избират стойности *500, 10000, 20000 g* или други посочени в ТД. Ускорението се установява спрямо геометричния център на тежестта на изделието. Изпитването се извършва последователно във всяко направление. Продължителността на изпитването се определя от времето необходимо за контрол на параметрите на изделието в процеса на изпитване, но не по-малко от *3* минути във всяко положение.

3.4. Електрически, конструктивни и радиационни изпитвания

3.4.1. Електрически изпитвания

Те служат за проверка на работоспособността на МЕИ и стабилността на параметрите им в различни работни режими [37].

За проверка на стабилността проверяваните параметри се измерват, после МЕИ се натоварва електрически и след определено време същите отново се контролират. Счита се, че изделието е издържало изпитването, ако стойността на всеки измерван параметър не се е изменила за определеното време или се е изменила в зададени граници. Ако дрейфът на електрическите параметри е значителен изделията се бракуват.

Работоспособността на МЕИ се проверява с тренировка. Различават се два вида тренировки:

- електрическа;
- термоелектрическа.

При *електрическа тренировка*, МЕИ се включват в електрическа схема с максимално допустими електрически параметри (токове и напрежения). При такива условия МЕИ работят известно време, което се задава в ТД. Електрическите изпитвания се осъществяват на специални изпитвателни стендове. Така се осигурява контрол и регистрация на стойностите на параметрите по зададена програма с помощта на тестове по време на изпитването.

При *термоелектрическа тренировка*, МЕИ се поставят в специални термокамери при максимално допустима висока температура в граничен електрически режим. При такива условия изпитваните изделия престояват известно време, зададено в ТД.

3.4.2. Конструктивни изпитвания

Към тези изпитвания влизат: проверка на габаритните и присъединителните размери, масата, външния вид, механичната якост на изводите и съединенията, качеството на антикорозионните покрития, херметичността, светонепроницаемостта и др. [29].

Проверка на габаритните и присъединителните размери. Тя се осъществява при измерване с помощта на измервателни инструменти.

Проверка на външния вид. Тя се осъществява при визуален оглед. Масата на МЕИ се контролира с претегляне на везни с точност 10%.

Изпитване на якост на изводите на МЕИ. Изводите на МЕИ и местата им на съединяване с изделието трябва да издържат на механични въздействия, които да отразяват условията, възникващи при монтажа на тези изделия.

Към тези въздействия [15] се отнасят:

— разтягащи сили, насочени по оста на изводите, които имат твърдо закрепване;

— свиващи сили, определящи способността на изводите да издържат натоварване аналогично на това при монтажа и експлоатацията им;

— огъващи сили за гъвкави изводи; усукващ момент за изводи с резби; усукване — за едножилни осеви жични изводи с диаметър от 0,3 до 1,2 mm.

Изпитване на въздействие на разтягащи сили. Провежда се за всички видове изводи. Ако броят на изводите не превишава три се изпитват всичките. Ако изводите са повече от три, то в ТД се посочва броя на изпитваните изводи за всеки образец. При проверка на якостта на закрепване на изводите се използват прости приспособления и последователно се изпитва всеки извод. По време на изпитването изводите се намират в нормално положение, а изделието се закрепва за корпус [15]. По посока на оста на извода (с кръгло или правоъгълно сечение) се прилага сила, която се определя от табл. 3.2.

Изпитване на въздействие на свиваща сила. То се провежда само на МЕИ с малка маса и размери. На това изпитване не се подлагат изделия с гъвкави изводи. По време на изпитването свиващото натоварване се прилага към извода, колкото може по-близо до корпуса на изделието. Прилаганата сила е както в предишните изпитвания. Тя трябва да нараства плавно и да се поддържа постоянна за 10 s.

Табл. 3.2. Натоварване при изпитване на изводите на МЕИ

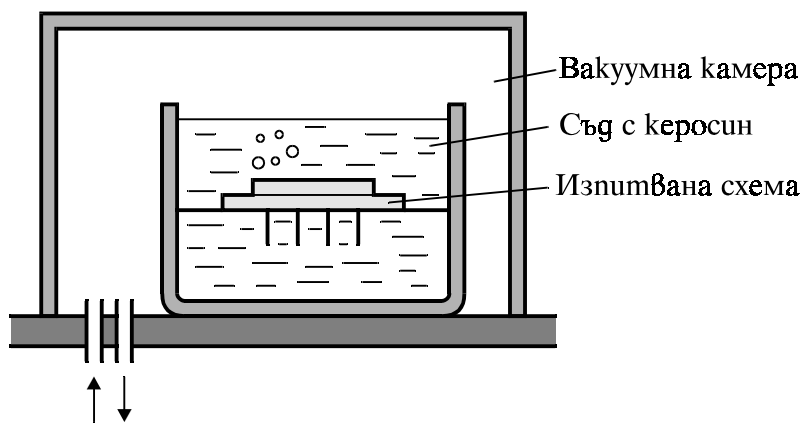
Площ на напречното сечение на изводите, mm^2	Съответен диаметър при кръгло сечение, mm	Разтягаща сила, N	Свиваща сила, N
→ 0,05	→ 0,25	1	0,25
0,05 — 0,07	0,25 — 0,3	2,5	0,5
0,07 — 0,2	0,3 — 0,5	5	1
0,02 — 0,05	0,5 — 0,8	10	2
0,5 — 1,2	0,8 — 1,25	20	4
1,2 →	1,25 — 2	40	8

Изпитване на огъване. При това изпитване последователно към всеки от изводите (по направление на оста на извода) се окачват товари, които са 2 пъти по-малки, отколкото при изпитване на разтягаща сила. След това корпусът на изделието бавно се накланя (с механизъм или ръчно) на 90° и после бавно се връща в изходно положение. Препоръчва се времето на огъване във всяка посока да е 3 с. Огъването се извършва в една вертикална плоскост. Провеждат се 3 огъвания (едно сгъване и разгъване се брои за едно огъване). Плоските изводи се изпитват по направление на най-слабата им устойчивост.

Изпитване на усукване. При него всеки извод се огъва на 90° на разстояние $6 \div 6,5 mm$ от мястото на присъединяването му към изделието при радиус на кривината $0,7 \div 0,8 mm$. Свободният край на извода се закрепва на разстояние $1,2 \pm 0,4 mm$ от мястото на огъване и се завърта около оста на изделието на 180° или 360° . Ъгълът на завъртане зависи от степента на натоварване. Броят на завъртанията също зависи от натоварването и може да бъде 2 или 3. Всяко завъртане се извършва в посока, противоположна на предхождащата го. Продължителността на едно завъртане е около 5 с. Изпитването може да се проведе също при завъртане на корпуса около оста на извода.

Изпитвания на херметичност. Херметичността се характеризира с количеството газ, проникващ в обема за единица време: $B = V\Delta P/\Delta t$, където V — обем, а ΔP — изменението на налягането за време Δt . „ B “ се нарича “натичане” и характеризира проникването на газа през местата на теча. Изпитванията на херметичност се осъществяват по три основни метода [9]:

- вакуумно-течностен;
- радиоактивен;
- масов-спектрометричен.



Фиг. 3.7. Вакуумно-течностен метод за изпитване на МЕИ на херметичност.

Вакуумно-течностен метод. Изпитваното изделие се поставя в камера при налягане $10 \div 15 \text{ Pa}$ за $1 \div 5 \text{ min}$. След това се поставя в пълнен с керосин стъклен съд, намиращ се във вакуумна камера. Ако корпуса е нехерметичен, поради разлика в налягането въздухът, намиращ се в МЕИ за-

почва да излиза в течността във вид на непрекъсната струйка мехурчета (фиг. 3.7). Чувствителността на метода е $5 \cdot 10^{-3} \text{ l} \cdot \mu\text{mHg/s}$.

Метод на потапяне на МЕИ в нагрятая течност. Той е разновидност на вакуумно-течностния метод. Откриването на изтичането на газ от нехерметични изделия се извършва визуално. МЕИ се потапят във вана с нагрятото силиконово масло или етиленгликол, така че горната повърхност на корпуса да бъде не по-малко на 50 mm под повърхността на течността. Температурата на нагриване на течността зависи от типа и конструкцията на корпусите. Колкото е по-висока температурата толкова е по-високо налягането, а следователно и достоверността на изпитването. Обикновено се избират температури от $70 \text{ }^\circ\text{C}$ до $150 \text{ }^\circ\text{C}$. С метода се регистрира скорост на теча по-висока от $1 \cdot 10^{-2} \text{ l} \cdot \mu\text{mHg/s}$.

Радиоактивен метод за изпитване на херметичност. При него МЕИ се поставят в херметична камера, която е напълнена с радиоактивен газ. След известно време газа се извежда от камерата и МЕИ се изваждат. Ако херметичността е нарушена проникналият в корпуса радиоактивен газ ще дава интензивно излъчване.

Масов-спектрометричен метод за изпитване на херметичност. Изразява се в разделяне на сложна смес от газове или пари по маси (по-точно по отношението на масите към заряда). Изпитваните изделия се поставят в херметична камера с хелий при налягане $(3 \div 5)10^5 \text{ Pa}$. Времето на престой зависи от типа на корпусите. Обикновено то е от $3 \div 48$ часа до 3 денонощия. Скоростта на теча на хелий трябва да се измери не по-късно от 1,5 часа след приключване на изпитването. Обикнове-

но за херметични се приемат корпуси, имащи теч по-малко от $5 \cdot 10^{-5}$ $\mu\text{mHg/s}$. Методът позволява да се откриват течове от 10^{-1} до 10^{-8} $\mu\text{mHg/s}$.

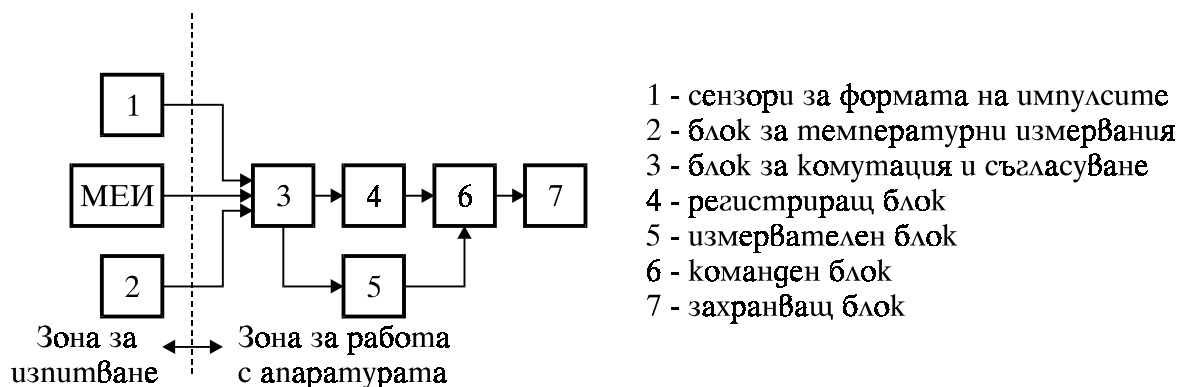
3.4.3. Радиационни изпитвания на МЕИ

За МЕИ, влизащи в състава на ЕА, която се експлоатира в радиационна обстановка, радиационните ефекти могат да се разглеждат като фактор на околната среда, подобни на температурата, вибрациите, ускорението и т.н [8].

При избора на контролируемите през време на изпитването параметри на изделието се изхожда от изискването за получаване на максимално възможна информация и възможност за измерване в условията на облъчване. Общопризната е трудността при изучаването на радиационните ефекти в МЕИ, в сравнение с другите фактори на околната среда. Това се дължи на голямото разнообразие на параметрите, които характеризират радиационната среда, на трудността да се моделират в лаборатория и на множеството видове откази.

Изпитванията на радиационна устойчивост се провеждат при електрическо натоварване и по специално разработена методика за всяко радиационно излъчване.

Основните три категории радиационни изпитвания имат за цел да се изследват и определят характеристиките и да се осигури радиационна устойчивост на МЕИ.



Фиг. 3.8. Блок-схема на измервателен комплекс за радиационни изпитвания.

Блокова схема на измервателен комплекс за провеждане на радиационни изпитвания е показан на фиг. 3.8. Конкретната структура и функции на измервателния комплекс зависят от вида на изпитването, типа на моделиращия източник на лъчение, характеристиките на контроли-

раните параметри на изделието. При изпитване на изделията на въздействие на импулсни източници на излъчване трябва със сензори (1) да се следи формата на импулсите и те да се синхронизират с регистриращата апаратура.

Блокът за комутация и съгласуване (3) осигурява превключване на каналите за регистрация на параметрите на изделията при провеждане на изпитвания със статични ядрени реактори. Той също съгласува сигналите от изпитваните изделия и сигнала за включване на регистриращата апаратура (4) при изпитване с импулсни моделиращи системи и в условията на натурен опит. Допълнителната апаратура включва захранване (7), измервателен блок (5) и команден блок (6). Блокът за измерване на температурата (2) отчита и регулира температурата в определен обхват.

Радиационните изпитвания се провеждат за определяне на устойчивостта на параметрите на МЕИ на действието на повишена проникваща радиация. Такава повишена радиация съществува при работата на МЕИ в космически условия, в условията на ядрени реакции в близост до реактори или при ядрен взрив. Степената на въздействие на съставките на проникващата радиация се определя от потока на частиците, кинетичната им енергия и времето на облъчване.

За измерване влиянието на общата доза и единични частици при продължителен престой на много МЕИ, работещи на борда на космически апарати е разработен и реализиран експеримент [18] на спътника CRRES за изследване на нова продукция и радиационни ефекти. Често се правят опити да се възпроизвеждат космическите условия чрез възпроизвеждане на облъчване с частици, имащи същия характер, енергия и потоци както в космоса.

Изпитване на въздействие на обща доза. При това изпитване МЕИ се помещава в йонизираща среда и се измерват характеристиките му при различни работни условия. Съществуват два вида изпитвания за определяне чувствителността към излъчване:

- стъпаловидни;
- непрекъснати.

При *стъпаловидните изпитвания за определяне на дозата* на излъчване първо се измерват електрическите характеристики на изделието. После то се облъчва с фиксирана доза йонизиращо излъчване и отново се измерват електрическите му параметри, за да се определи тяхното изменение. За определяне на чувствителността на изделието към общата доза, изпитванията могат да се провеждат с един образец при няколко нива на дозата или с няколко образца на един и същ тип МЕИ

при няколко увеличаващи се дози.

При *непрекъснатите изпитвания* се провежда непрекъснато измерване на характеристиките на изделието през време на облъчването.

Преимуществото на стъпаловидния метод, е простотата на изпълнението му. Изпитваното изделие може да се контролира на тестер за стандартни електрически измервания, да се пренесе към източника на излъчване, да се облъчи и да се върне за окончателни електрически измервания.

Повечето изследвания и измервания на влиянието на общата доза се провеждат върху тестови структури. Лабораторните данни за влиянието на общата доза лъчение обикновено се получават при мощности на дозата $100 \div 300 \text{ rad}$, както е предписано от военните технически условия [38].

Изпитване на въздействие на единични частици. При непрекъснати изпитвания във вакуумна камера върху въртяща се платформа се поставя контейнерът с некорпусирани МЕИ, за да се мени ъгъла на падане на лъчите върху повърхността на кристала. Измервателният комплекс за електрически тест е свързан с контейнера чрез специални съединители.

Нов метод на радиационни изпитвания е математическото моделиране на работата на изделията с ЕИМ в условията на проникваща радиация.

3.5. Оборудване за провеждане на изпитвания на МЕИ при въздействие на околната среда

3.5.1. Оборудване за климатични изпитвания

Оборудването за климатични изпитвания трябва да имитира преките въздействащи фактори, които влияят върху работоспособността на изделията в обхвати, установени от действащите стандарти [4, 5].

Съществуват два основни начина за изпитване на въздействието на температурата:

- 1) Изделията се разполагат в камера, където с програмно управление се реализира плавно изменение на температурата;
- 2) Изделията се пренасят от една камера в друга с предварително установена температура.

При изменение на температурата в камерата по линеен закон $T = kt$, температурата на МЕИ ще се изменя по закона:

$$T_D \approx k(t - \tau_T). \quad (3.8)$$

Тук k е коефициент на пропорционалност, а τ_T е времеконстантата на нагриване (охлаждане) на изделието, като

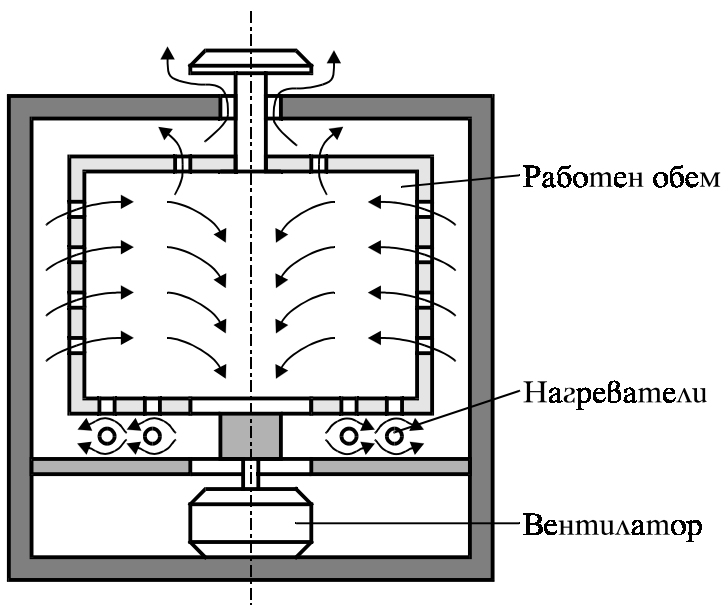
$$\tau_T = \frac{\sum_{j=1}^m c_j \vartheta_j}{\sum_{i=1}^n \mu_i s_i}, \quad (3.9)$$

където c_j , ϑ_j — топлинни капацитети и обеми на отделните части на изделието, а μ_i , s_i — коефициенти на топлоотдаване и площ на отделните участъци от повърхността на изделието. Следователно $T_D < T$.

Ако изделието се пренася от камера с температура T_1 в камера с температура T_2 , то ще изпита топлинен удар и ще достигне температура T_D

$$T_D - T_1 = (T_2 - T_1) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_T}\right) \right]. \quad (3.10)$$

След време $t = 5\tau_T$ $T_D \approx T_2$ с точност около 1%.



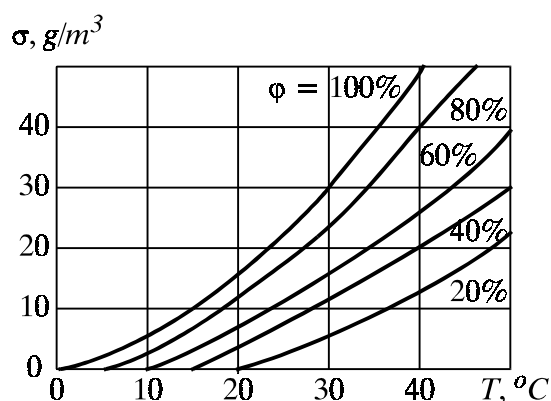
Фиг. 3.9. Изкуствена циркулация на въздух в термостат.

Термостати или *термокамери*. Те са предназначени за изпитване на топлоустойчивост. Точността на поддържане на температурата е $\pm 1^\circ\text{C}$, а градиентът на температурата в различни точки на камерата е по-нисък от $\pm 1 \div \pm 2^\circ\text{C}$. За равномерно и бързо разпределение на температурата се прилага изкуствена циркулация на въздуха с вентилатори (фиг. 3.9). При кратковременно отваряне на вратата за $1 \div 2 \text{ min}$ температурата в камерата

не трябва да се изменя повече от 10°C и може да се възстанови за не повече от $10 \div 15 \text{ min}$.

Криостати или *камери за студ*. Те са предназначени за изпитване на студоустойчивост. Температурата на камерата може да достигне до -

170 °C при използване на течен азот с непосредствено охлаждане. Недостатъкът на такива криостати е невъзможността плавно да се изменя температурата и зависимостта на температурата в камерата от броя на изпитваните изделия. При използване на косвено охлаждане и фреон 22 може да се получи температура до -80 °C. За ускоряване на процеса на охлаждане се използват допълнителни въздухоохладители, което осигурява и равномерност на разпределение на температурата в работния обем.



Фиг. 3.10. Зависимост на съдържанието на водните пари във въздуха от температурата.

Хигростати и термохигростати.

Те служат за изпитване на повишена влага и влажна топлина. Влагопроницаемостта на изделията W_D зависи от относителната влага на въздуха вътре в φ_2 и извън φ_1 МЕИ, от налягането на водните пари на околната среда p в Pa , от изменението на съдържанието на влага над изделието σ в $g/cm^2 min$ и се дава с израза:

$$W_D \approx 0,45(\varphi_1 - \varphi_2)p\sigma. \quad (3.11)$$

Налягането на водните пари p зависи от абсолютната влажност на въздуха e_a , т.е. от масата на водната пара, съдържаща се в единица обем въздух. Абсолютната влажност на въздуха е функция на температурата (фиг. 3.10). Изменението на съдържанието на влага над изпитваното изделие се определя с формулата:

$$\sigma = \left[\frac{e_a h S + \sum_i m_{h_i}}{S(\varphi_1 - \varphi_2)} \right] \frac{d\varphi}{dt}, \quad (3.12)$$

където h е височина на пространството над изпитваното изделие, cm ; S — площ на сечението на изделието, cm^2 ; m_{h_i} — маса на влагата, съдържаща се в пространството над i -тото изделие, g ; $d\varphi/dt$ — скорост на изменение на относителната влажност вътре в изделието в началото на изпитването ($t \approx 0$).

Следователно влагопроницаемостта на изделието е

$$W_D \approx 0,45 \left(e_a h + \sum_i \frac{m_{h_i}}{S} \right) \frac{d\varphi}{dt}. \quad (3.13)$$

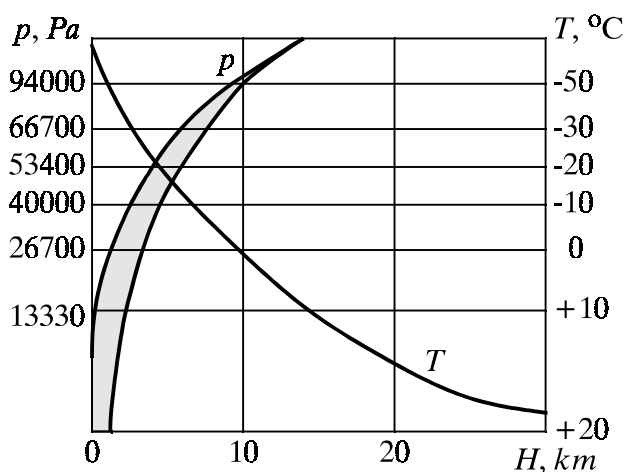
За да се определи влагопроницаемостта на изделието трябва да се контролира стойността на относителната влажност в изделието

през определени интервали от време $d\varphi/dt$. Този начин е твърде неточен и неудобен за изпълнение. Затова на практика, влагоустойчивостта на изделието се определя като се следи стойността на относителната влажност в работния обем на хигростата. За да проникне загаденото количество влага в изпитваното изделие е необходимо определен времеви интервал t :

$$G_D = \int_0^t W_D dt \approx 0,45 \left(e_a h + \sum_i \frac{m_{h_i}}{S} \right) (\varphi_x - \varphi_0), \quad (3.14)$$

където φ_0 , φ_x са съответно относителна влажност на въздуха в работния обем над изпитваното изделие в началото на изпитването ($t = 0$) и в момента от време $t = t_x$.

Като правило в обемите на камерите се осигурява само повишена температура и влажност на въздуха, а понякога и понижена температура. Това позволява да се провеждат изпитвания на роса.



Фиг. 3.11. Изменение на атмосферното налягане и температура във височина.

На базата на съществуващата връзка между изменението на температурата и налягането с височината, може да се установи зависимостта на налягането, при което се извършва изпитването p_e от температурата

$$p_e = p_0 \left(1 + \frac{T_C}{273} \right), \quad (3.15)$$

където p_0 е налягането на газа (атмосферата) на дадена височина при 0°C ; T_C — температура на дадената височина $^\circ\text{C}$.

Затова при изпитване за устойчивост на понижено налягане е необ-

Барокамери и термобарокамери. Те служат за изпитване на понижено налягане и изпитване на съвместно действие на температура и налягане. На такива изпитвания се подлагат МЕИ в състава на ЕА, предназначена за експлоатация на летателни апарати. Там в зависимост от височината и аеродинамичното нагряване на корпуса могат да възникнат подобни въздействия.

С нарастване на височината H атмосферното налягане p спада, както е показано на фиг. 3.11.

ходимо да се установи налягане, за което се отчитат поправките на работната температура на изделията (табл. 3.3). При изпитване на понижено налягане при понижена температура не се въвеждат поправки за височини до 15 km .

Получаването съвместно или поотделно на вакуум и положителни или отрицателни температури за изпитванията повишава коефициента на използване на апаратурата.

Табл. 3.3. Поправки за отчитане влиянието на повишената температура върху налягането при изпитване на МЕИ.

P_a $\times 133,3\text{ Pa}$	Налягане при изпитване $P_b \times 133,3\text{ Pa}$ при $T, ^\circ\text{C}$						
	70	80	100	125	155	200	250
400	342	327	314	294	272	248	224
64	54	52	50	47	44	40	36
33	28	27	26	24	23	20	18
15	13	12	12	11	10	9	8
5	3	3	3	3	3	3	3

Соларотрони или *камери за слънчева радиация*. Те са предназначени за изпитване на изделия, които се подлагат на въздействие на сух и горещ климат. Изделията трябва да се подлагат в тях на облъчване с дължини на вълните в обхвата $2,9 \cdot 10^7 \div 4 \cdot 10^7\text{ m}$ с интегрална интензивност $7500\text{ J/cm}^2\text{ min}$ при температура $+60 \pm 2^\circ\text{C}$.

Камери за тропически климат. Те са предназначени за изпитване на въздействие на влажен тропически климат или сух горещ климат. Те представляват съчетание на соларотрон и термохигростат. Към тях понякога се отнасят камерите за изпитване на морска (солена) мъгла. В камерата се разпръсква разтвор наситен със соли. За отстраняване на трудностите свързани с агресивността на морската мъгла често се използва друга методика за изпитване на корозоустойчивост. Изделието се изпитва в условията на тропичен влажен климат и така изпитването се ускорява почти два пъти, а при кратки изпитвания почти 10 пъти.

3.5.2. Оборудване за провеждане на механични изпитвания

Апаратурата за провеждане на механични изпитвания се дели на три основни групи [5]:

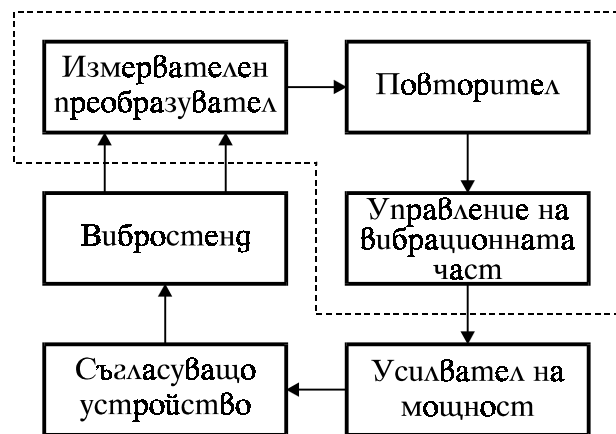
- 1 — вибростендове, създаващи изкуствена вибрация ;
- 2 — ударни стендове;
- 3 — центрофуги.

Понякога апаратурата се класифицира по следния начин:

- еднокомпонентни вибростендове — за синусоидални вибрации;
- двукомпонентни бихармонични стендове — центрофуги (за кръгова вибрация);
- трикомпонентни вибростендове — за обемна вибрация;
- импулсни или ударни стендове — за периодични вибрации във вид на отделни импулси (удари);
- имитационни апаратури — за периодични вибрации или импулси със зададена форма.

Вибростендове. Вибрацията във вибростендовете се създава от възбудител на механични колебания (вибратор), който е твърдо свързан със специална платформа (маса).

Блоковата схема на електродинамичен вибростенд е показана на фиг. 3.12. Важен елемент на вибростенда е управляващата част (заградената с пунктир), която служи за изработване на сигнал със звукова честота, за измерване и поддържане на зададената амплитуда на ускорението и преместването на масата. Тази част управлява колебанието на честотата в зададения диапазон. Променливотоковият управляващ сигнал от усилвателя на мощност се подава на подвижната котва на вибростенда. Изходното съпротивление на усилвателя се съгласува с входното съпротивление на подвижната котва.



Фиг. 3.12. Блок-схема на електродинамичен вибростенд.

Съществуват специални вибростендове, които извършват изпитване на изделията на въздействие на широколентова случайна вибрация.

За намаляване на грешките внасяни от приспособленията за закрепване на изпитваните изделия, трябва да се избира материала (най-често се използва *А*), формата и да се въведат допълнителни елементи в конструкцията им за здравина. Най-добра е формата на куб, при която се за-

крепват елементи по трите плоскости.

При конструирането на приспособление за едновременно изпитване на няколко миниатюрни изделия, трябва да се обръща специално внимание на центрирането на системата маса-приспособление-изпитвано изделие. Върху приспособлението трябва да се предвиди място за поста-

вяне на сензора в контролната точка. След изготвяне на приспособлението то се тества.

От гледна точка на динамиката *ударните стендове* се разделят на два вида:

- стендове, в които ударният импулс възниква при ускоряване;
- стендове, в които ударният импулс възниква в етапа на спиране.

Както и при вибрационните изпитвания, приспособленията за закрепване на изпитваните МЕИ трябва да предават ударното въздействие с минимално възможни изкривявания. Конструкцията на приспособлението се избира във вид на куб или рама. За повишаване на якостта се предвижда използване на заздравяващи планки и ребра. Собствените честоти на приспособлението не трябва да съвпадат с тези на колебанието на ударното ускорение внасяно от стенда.

За изпитване на въздействие на центробежни ускорения се използват различни *центрофуги*, основната част на които представлява платформа, която се върти с определена честота (об/мин).

3.5.3. Оборудване за радиационни изпитвания

В качеството на източници на радиационни излъчвания могат да се използват *ядрени реактори*, работещи в импулсен режим, *линейни ускорители*, *импулсни рентгенови апаратури* (с енергия на излъчване до 10 keV) и *капсули с радиоактивни изотопи* [19]. Най-често като радиоактивни изотопи се използват елементите кобалт и цезий. Основните характеристики на различните видове оборудване за радиоактивни изпитвания са показани на табл. 3.4.

Табл. 3.4. Характеристики на източниците на радиация

Вид на източника	Поток Φ , неутр./ cm^2	Експозиционна доза D , J/kg	Мощност на дозата P , W/kg	Продължителност на импулсите τ , s
Импулсни реактори	$10^{13} - 10^{14}$	$5 \cdot 10^{15} - 5 \cdot 10^{16}$	$10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	$10^{-4} - 10^{-2}$
Линейни ускорители	10^{12}	10^5	10^{11}	$(0,1 - 10)10^{-6}$
Импулсно рентгеново оборудване	—	10^6	10^{14}	$0,02 \cdot 10^{-4}$
Капсули с изотопи Co^{60} и Cs^{134}	—	—	10^3	∞

При ядрен взрив, вследствие поглъщането на гама-лъчите от въздуха, възниква електромагнитен импулс, който създава мощно електрическо поле. За изпитване на такова въздействие се използват най-често *импулсни СВЧ-генератори* с регулируема честота за получаване на напрегнатост на полето до няколко kV/m . Тъй като създаването на такива мощни импулси не винаги е възможно, изпитванията нормално се извършват при по-ниски мощности, а резултатите се екстраполират до очакваната мощност на импулсите.

3.6. Последователност на провеждане на изпитванията на МЕИ

Съставът на изпитванията по вид и последователност на провеждане трябва да е в съответствие с изискванията на стандартите [29, 34] и техническата документация на изделието. Съставът на изпитванията във всяка група може да бъде разделен на отделни подгрупи. Във всяка подгрупа влизат едно или няколко вида изпитвания. Такова деление се налага поради целесъобразността от последователно или паралелно провеждане на изпитванията.

При провеждане на научно-изследователски работи за изучаване на възможностите на изделията и механизмите на отказите е необходимо да се получи повече информация за изделията и за това как те дефектират. В този случай най-силните климатични въздействия се осъществяват в края на изпитванията. Последователността на приемо-предавателните изпитвания предвижда най-напред да се определят грубите дефекти, такива като грешки в маркировката, повреда на изводите, наличие на къси съединения и прекъсвания.

Изпитванията за херметичност и влагоустойчивост (при кратки въздействия) на МЕИ, които могат да предизвикат разхерметизиране на изделията обикновено предшестват механичните и климатичните изпитвания.

Изпитването на смяна на температурата може да се реализира или като изпитване на термоцикли, или като изпитване на термошок. При последното изпитване скоростта на смяната на температурата е висока.

Препоръчва се да се спазва следната последователност на изпитванията:

- 1 — на виброустойчивост;
- 2 — на виброякост;

- 3 — на ударна якост;
- 4 — на ударна устойчивост;
- 5 — на въздействие на линейни натоварвания;
- 6 — на смяна на температурата;
- 7 — на топлоустойчивост;
- 8 — на влагоустойчивост;
- 9 — на студоустойчивост.

Ако се провежда късо изпитване на влагоустойчивост в цикличен режим с кондензация на влага, то се препоръчва следната последователност на провеждане на изпитванията:

- 1 — механични;
- 2 — изменение на температурата;
- 3 — влагоустойчивост (първи цикъл);
- 4 — студоустойчивост;
- 5 — понижено атмосферно налягане;
- 6 — влагоустойчивост (останалите цикли).

Допуска се и се препоръчва да се съвместяват следните видове изпитвания:

- на виброустойчивост с изпитване на виброякост;
- на ударна устойчивост с изпитване на ударна якост;
- на топлоустойчивост при експлоатация с изпитване на въздействие на понижено атмосферно налягане при максимална температура или с изпитване на изменение на температурата;
- на топло- и студоустойчивост при съхранение с аналогични изпитвания при експлоатация или с изпитване на изменение на температурата;
- на студоустойчивост при експлоатация с изпитвания на изменение на температурата;
- на въздействие на роса с изпитване на студоустойчивост при експлоатация или с изпитване на изменение на температурата.

Изборът на вида на натоварването при изпитване на МЕИ зависи от характера на дефекта и неговия механизъм. Най-характерните дефекти на метало-стъклените корпуси на МЕИ ефективно се проявяват при термоцикли.

Механичните дефекти в изводите на МЕИ сравнително лесно се проявяват при въздействие с различни механични натоварвания (ускорение, вибрации).

Откриването на възможните металургични дефекти, възникващи в процесите на термокомпресия при създаване на МЕИ може да се извърши при измерване на съпротивлението между два съседни извода на

корпуса след термоцикли и механични изпитвания.

Прекъсването на гъвкави проводници се открива добре при центрофузиране на МЕИ при големи ускорения (над $10000 g$). За откриване на прекъсвания в изводите на безкорпусни активни МЕИ най-ефективно е провеждането на технологично изпитване с продухване на състен въздух след монтажа и провеждане на термоцикли на готовото изделие.

Образуването на цепнатини, канали и гупки в защитните слоеве ефективно се открива при едновременно въздействие върху МЕИ на висока температура и повишено обратно напрежение, приложено на *p-n* преходите.

При едновременно действие на електрическо и термично натоварване в режим на голям ток се предизвиква прегряване на *p-n* прехода в местата с налични дислокации.

При въздействие с термоцикли се проявяват дефектите, дължащи се на локални механични повреди, на пукнатини в полупроводниковата структура или в защитния слой.

Безусловно изпитванията на термични натоварвания са по-евтини. Изпитванията при електрическо натоварване са по-тежки и по-ефективни за откриване на потенциално ненадеждни прибори.