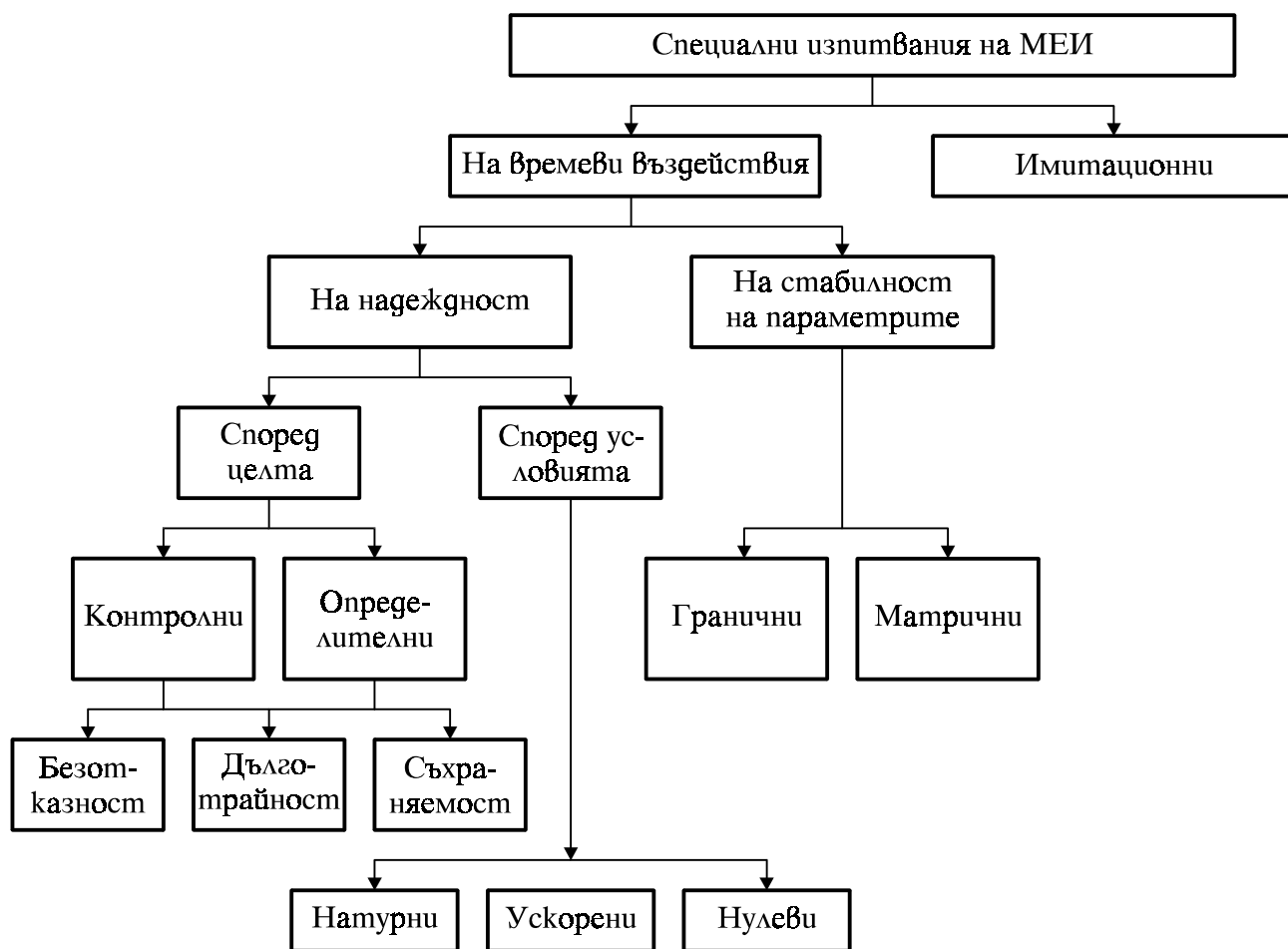


4. СИСТЕМА ИЗПИТВАНИЯ НА МЕИ

4.1. Методи за планиране на изпитванията за надеждност

4.1.1. Видове изпитвания за надеждност на МЕИ

Към специалните изпитвания се отнасят изпитванията за надеждност, за стабилност на параметрите и имитационните изпитвания, имитиращи работата на МЕИ в специални условия на експлоатация (фиг. 4.1). От всички изпитвания на микроелектронни изделия най-сложни са изпитванията за надеждност, тъй като в хода на тяхното провеждане се моделира действието на цял комплекс дестабилизиращи фактори.



Фиг. 4.1. Схема на специалните изпитвания.

За да се изследва влиянието на механичните, климатичните и времевите фактори върху стабилността на параметрите се провеждат

гранични и матрични изпитвания на МЕИ. Изпитванията за надеждност на МЕИ в условията на експлоатация се наричат *натурни* изпитвания. *Ускорените* изпитвания за надеждност се провеждат при форсирани режими, при които стойността и характера на действие на външните фактори обикновено превишава граничните им стойности. От ускорени изпитвания може лесно да се премине към така наречените *нулеви* изпитвания. При тях се контролират косвени параметри, свързани с показателите на надеждността (напр. шума в резисторите). Контролните и определителните изпитвания се разделят от своя страна на изпитвания за *безотказност, дълготрайност и съхраняемост*.

При контрол на готовата продукция е необходимо еднозначно да се определят такива данни като обем на извадката n , времето на изпитване $t_{\text{и}}$, приемното число C , които са достатъчни за определяне на надеждността на цялата партида. Съвкупността от тези данни съставя плана за контрол, за формирането на който се използват специални таблици и графики. Планът може да се формира с аналитични или с графични методи.

В комплекса изпитвания на МЕИ електрическите изпитвания за надеждност имат първостепенно значение. Те са най-трудоемки и скъпо струващи.

4.1.2. Контролни изпитвания за надеждност

Контролните изпитвания за безотказност [23] са задължителни надеждностни изпитвания в условията на редовно производство на МЕИ. Контролни изпитвания за съхраняемост и дълготрайност се провеждат само ако това е указано в техническата документация.

Контролните изпитвания за надеждност (КИН) могат да се провеждат по количествен или по алтернативен признак [6]. Същността на алтернативната проверка се заключава във вземане на решение за съответствие (несъответствие) на изпитваните образци на заложените изисквания. Планирането на КИН по алтернативен признак изисква да се знае закона на разпределение на контролираната СВ.

Според целта контролните изпитвания за надеждност на МЕИ се класифицират на:

- изпитвания за контрол на броя откази или вероятността за отказ;
- изпитвания за контрол нивото на показателите на надеждност и параметрите на законите за разпределение.

Контролните изпитвания за безотказност се провеждат обикновено по еднократен или двукратен метод [21, 24].

Метод на еднократна извадка (еднократен). Този метод позволява да се реши въпроса за приемане на партида МЕИ по резултатите от изпитването на единствена извадка с обем n , случайно формирана от тази партида. Ако броят d на отказалите МЕИ в извадката за времето на изпитване t_u е по-малък или равен на приемното число C , то партидата се приема. В противен случай тя се бракува.

При еднократния извадков контрол оперативната характеристика се описва с формулата:

$$p(Q) = \sum_{d=0}^C C_d^n P^d (1-P)^{n-d}, \quad (4.1)$$

където $p(Q)$ — вероятност за приемане на партидата.

Планът за контрол се съставя както при известен, така и при неизвестен закон на разпределение на отработката до отказ на МЕИ. Случайният брой отказващи МЕИ за зададено време при извадки с обем $n < 0,1N$ може да се определи или чрез закона на Пуасон или чрез биномния закон. На базата на тези закони се построяват, удобни за практиката таблици за определяне на обема на извадката. За целта трябва да се зададе стойността на вероятността за безотказна работа P_2 , риска на заявителя β и броя на отказите (който по същество е приемното число C). При неизвестен закон на разпределение на отработка до отказ на МЕИ, извадката дефинирана с помощта на такава таблица трябва да се изпитва за гарантираното време t_g , за което е зададена стойността на P_2 .

При съставяне на плана за контрол на партида МЕИ при неизвестен закон на разпределение на отработката до отказ се избира приемно число, което от икономически съображения не трябва да е голямо.

При съставяне на план при известен закон на разпределение на отработката до отказ продължителността на изпитване се избира в зависимост от производствените и технико-икономическите фактори (напр. време, което може да бъде отделено за изпитване, налични образци на МЕИ, изпитвателно оборудване).

Основното преимущество на метода е, че лесно се планира и осъществява. Недостатък на дадения метод, както при всеки извадков метод за контрол е възможността да се бракува годна партида МЕИ.

Метод на двукратна извадка (двукратен метод). Този метод предвижда изпитване на втора извадка, ако броят на отказите в първата извадка е по-голям от приемното число, но е по-малък от числото на

отхвърляне. Най-малкият брой отказали изделия в изпитваната извадка, при които резултатите от изпитването се приемат за отрицателни, се нарича *число на отхвърляне* C' . Вероятността за приемане на партида МЕИ по резултатите от изпитването на първа извадка чрез двукратния метод е по-малка от същата вероятност при еднократния метод.

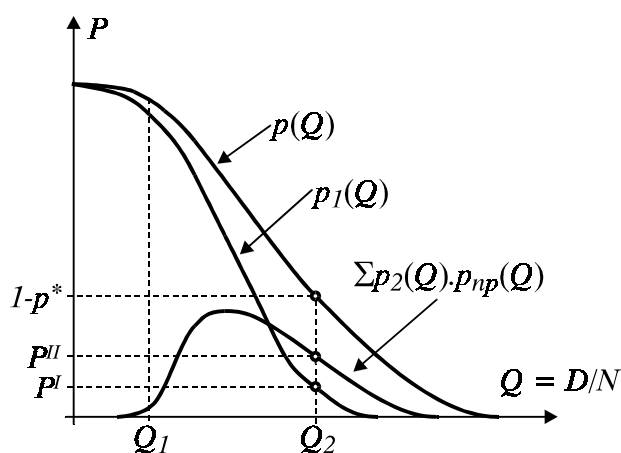
В случая на двукратен извадков контрол, вероятността за приемане на партидата при ниво за бракуване P_2 ще бъде:

$$\sum_{d_1=0}^{C_1} C_{d_1}^{n_1} P_2^{d_1} (1-P_2)^{n_1-d_1} + \sum_{d_1=C_1+1}^{C_2} \sum_{d_2=0}^{C_2-d_1} C_{d_1}^{n_1} C_{d_2}^{n_2} P_2^{d_1+d_2} (1-P_2)^{n_1+n_2-d_1-d_2} = 1 - P^* \quad (4.2)$$

където n_1 е обем на първата извадка; n_2 — обем на втората извадка; C_1 — приемно число за първата извадка; C — приемно число за обединените първа и втора извадки; d_1 — брой дефектни изделия в първата извадка, а d_2 — съответно във втората извадка.

Първото събираемо в лявата част на (4.2) е вероятността за приемане $p_1(Q)$ на партидата, равна на числото на отхвърляне по резултатите от изпитването на първата извадка. Второто събираемо е сума от произведенията на вероятностите за прехода $p_{np}(Q)$ към изпитване на втора допълнителна извадка с вероятността за приемане $p_2(Q)$ на партидата по резултатите от изпитването на втората извадка. Сумарната оперативна характеристика $p(Q)$ на плана за двукратен извадков контрол се състои от две криви (фиг. 4.2):

$$p(Q) = p_1(Q) + p_{np}(Q)p_2(Q). \quad (4.3)$$



Фиг. 4.2. Оперативна характеристика при метода на двукратна извадка.

Следователно рискът на заявителя при приемане на партидата по резултатите от изпитването на първичната извадка значително се занижава в сравнение с риска при метода на еднократната извадка, а рискът на производителя (при запазване на приемното число) се увеличава.

При съставяне на план за контрол се въвеждат приемно число C и число на отхвърляне C' за първата и съответно за допъл-

нителната извадка (C_2, C_2'). Необходимият обем на извадките се определя от (4.2). Например за $C_1 = 0$ и $C = 0$ се определят обемите на извадките от изразите:

$$n_1 = \frac{a_1}{1 - P_2}; n_2 = \frac{a_2}{1 - P_2}, \quad (4.4)$$

където a_1 и a_2 се намират от табл. 4.1, построена на основата на (4.2). В зависимост от риска на производителя β се установяват за първата извадка приемно число $C_1 = 0$ и число на отхвърляне $C_1' = 2$, а за втората извадка — съответно $C_2 = N$ и $C_2' = 1$.

Табл. 4.1. Компоненти на оперативната характеристика при двукратен извадков контрол на надеждността на МЕИ.

	β	a_1	a_2
	0,1	2,6	2,00
	0,2	2,0	1,43
	0,3	1,6	1,18

Последователен метод на извадков контрол. По аналогичен начин се разглеждат свойствата на многократните планове на контрол, които се наричат последователни методи. Те се изпълняват, когато не може да се вземе решение за приемане или бракуване на партидата и се налага изпитването да се извършва многократно.

Метод на непрекъснати изпитвания за надеждност. При този метод непрекъснато се избират и поставят МЕИ на изпитване.

Изделията се избират на равни групи през равни интервали от време t' в продължение на зададен период от време $t_{пер}$

$$t' = \frac{t_{пер}}{k}, \quad (4.5)$$

$$k = \frac{n}{n_i}$$

където k е броя на изпитваните групи от изделия; n_i — брой на МЕИ във всяка група; n — обем на извадката, необходима за потвърждаване на P_2 за време t_2 (при определено число C).

Изпитването на всяка група е с продължителност t_2 . Оценката на резултатите от изпитването се извършва след приключване на изпитването на последната група. Ако общият брой отказали МЕИ при изпитванията за време t_u е по-малък от приемното число C , то се счита, че зададеното ниво на надеждност е осигурено. Основен недостатък на метода е загубата на много време за вземане на решение.

Графичен метод за планиране на изпитванията на надеждност. Този метод използва вероятностните криви на Пуасон, които определят

Вероятността

$$p(d \leq C) = \sum_{d=0}^C e^{-a} \frac{a^d}{d!}, \quad (4.6)$$

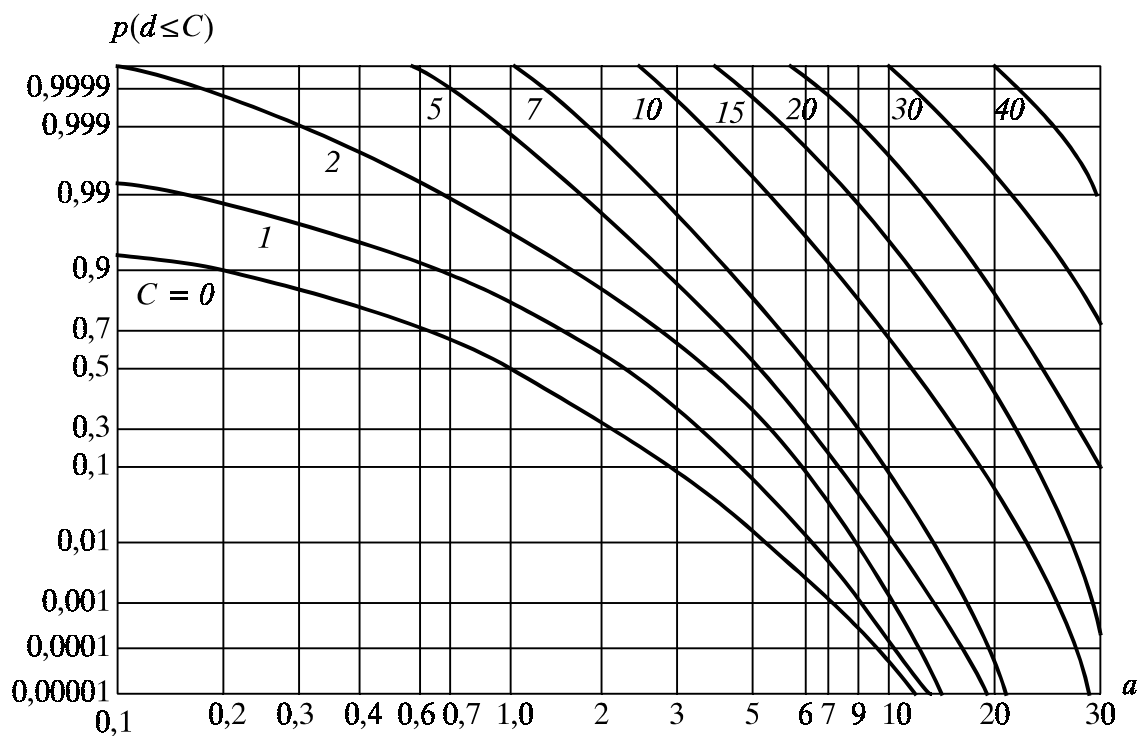
където a е параметър на закона на Поасон; d — брой на отказите при изпитването; C — приемно число.

Семейството вероятностни зависимости при различни стойности на C е показано на фиг. 4.3. Стойността на параметъра a при оценка на надеждността на готова продукция на МЕИ показва каква част са потенциално ненадеждните изделия в извадка с обем n (т.е. $a = n \cdot Q$). Параметърът a представлява математическото очакване на случайната величина — брой на отказите.

Показаните графики са получени с натрупване. Например за $a = 2$ вероятността за поява на 3 отказа е около 78 %, а при две и по-малко — около 53 %. Затова разликата на тези две вероятности дава вероятността да откажат точно три изделия, т.е. 25 %.

Тези графики се използват:

- за определяне на вероятността за поява на даден брой отказ;
- за съставяне на планове за контрол, които се осъществяват по едно зададено ниво на надеждност (P_2 при определено β) или по две зададени нива на надеждност (P_1 и P_2 при определени α и β).



Фиг. 4.3. Зависимости на вероятността за получаване на отпази, чиито брой не надвишава приемното число от параметъра на закона на Пواسон.

Обикновено C се избира равно на 0 или по-рядко на 1 или 2, тъй като по този начин критерият е по-чувствителен към измененията на надеждностните показатели на изделията. Планът за контрол на надеждността трябва да се съставя с предпочитание да се съблюдават интересите на потребителя. Това означава производителят да бъде длъжен да осигурява значителен запас на надеждност в сравнение с уговореното с потребителя ниво.

При провеждане на КИН се посочват стойностите на контролираните показатели и плана за изпитване на всеки един от тях. Трябва да се посочат методите за провеждане на изпитванията на всички показатели на надеждност и контролираните параметри на изделието, определящи неговата работоспособност и критериите за отказ. Дефинират се условията за провеждане на изпитванията, въздействащите фактори и тяхната продължителност, хранящите напрежения, както и изискванията към средствата за измерване и изпитвателното оборудване.

4.1.3. Методика за провеждане на контролни изпитвания за надеждност

При планиране на контролни изпитвания за надеждност се препоръ-

чва да бъдат посочени:

- 1) номенклатурата и стойностите на контролираните показатели;
- 2) плана за изпитване по всеки един от показателите;
- 3) параметри на плана:
 - ниво за приемане;
 - ниво за отхвърляне (бракуване);
 - риск на възложителя;
 - риск на производителя.
- 4) методите за провеждане на изпитванията по всички показатели;
- 5) списък на контролираните параметри на изделието, определящи неговата работоспособност, периодичността на проверката им и критериите за отказ;
- 6) условия за провеждане на изпитванията, въздействащи фактори и тяхната продължителност;
- 7) нивото на захранващите напрежения и продължителността на действието им;
- 8) изискванията към средствата за измерване и оборудване.

4.2. Определителни изпитвания за надеждност

Достоверността на получените статистически оценки от определителните изпитвания на надеждност (ОИН) се оценява с доверителна вероятност γ (Раздел 1.6). По-сложен е въпросът с другия качествен показател на оценката — точността. Логично е точността да се измерва с ширината на доверителния интервал и по-точно с неговите горна P_2 и долна P_1 граници.

Когато се оценява интегрална или обратна интегрална функция на разпределение на случайната величина, например $P(t)$ или $Q(t)$ [12] най-често се използват изразите само за долната доверителна грешка от вида:

$$\Delta P_1 = \ln P_1 - \ln \bar{P}; \quad (4.7)$$

$$\delta_P = \delta_{P_1} = \frac{\ln P_1 - \ln \bar{P}}{\ln \bar{P}} = \frac{\Delta P_1}{\ln \bar{P}}. \quad (4.8)$$

Изрази (4.7) и (4.8) представят съответно абсолютната доверителна и относителната доверителна грешка по долна граница. Следователно

$$P_1 = \bar{P}(1 + \delta_P). \quad (4.9)$$

Когато се провеждат изпитвания за безотказност и дълготрайност, контролираната случайна величина е сумарната обработка t_{Σ} .

При изпитване за съхраняемост основна характеристика е сумарното време за съхраняване $t_{\Sigma c}$.

4.2.1. Определителни изпитвания за безотказност

Оценка на $P(t)$ при неизвестен закон на разпределение. В такъв случай се провеждат n опита и се регистрират отказите d . Всеки опит се състои в изпитването на едно изделие в продължение на време $t = t_u$ или до появата на отказ в момент $t_i < t_u$. Опитите могат да се провеждат едновременно или последователно [20]. Получените реализации t_1, t_2, \dots, t_d на случайната величина T не се използват при определяне на $P(t)$.

Описаният план е еднопараметричен, с неизвестен параметър броя на отказите n . Точковата оценка на $P(t)$ се пресмята от израза:

$$\bar{P} = 1 - n/d. \quad (4.10)$$

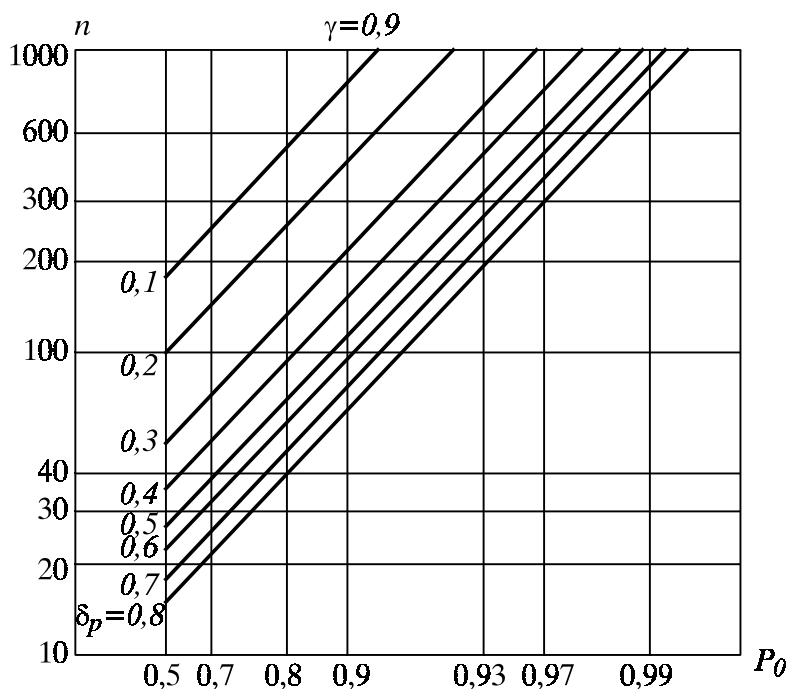
Планирането на изпитванията става при биномно разпределение на отказите. Съставят се уравненията, свързващи горната и долната граници на доверителния интервал P_2 и P_1 с доверителната вероятност γ . Решенията на тези уравнения са трудни и за целта стойностите на γ , n , d , P_2 и P_1 се табулират.

Експериментите показват [12], че ако е изпълнено $\bar{P} < P_0$ (P_0 — очаквана стойност) при фиксирана достоверност, се достига по-висока точност δ . Ако е изпълнено $\bar{P} > P_0$, то $\delta_{\bar{P}}$ е по-ниска от зададената δ_P . Във втория случай е необходимо да се проведат допълнително Δn на брой опити.

Планирането на ОИИ при неизвестно разпределение става по следния алгоритъм [27]:

1. Определя се долната доверителна граница на оценката $P_1 = P_0(1 - \delta_P)$, където δ_P се задава.

2. Избира се таблица за зададената стойност на γ .



Фиг. 4.4. Зависимост на необходимия брой опити n от очаквания показател P_0 при доверителна вероятност $\gamma = 0,9$.

При зададени γ , P_0 и δ_P от фиг. 4.4 може да се планира броят на опитите n .

Избор на план при експоненциално разпределение на отказите. Експоненциалното разпределение е еднопараметрично с параметър T . Определянето на един от показателите λ , T или $P(t)$ е достатъчно, тъй като е в сила връзката:

$$\lambda = \frac{1}{T} = -\frac{1}{t} \ln P(t). \quad (4.11)$$

Относителните доверителни грешки на показателите при експоненциално разпределение са свързани със зависимостите:

$$\delta_\lambda = \delta_P = \frac{\delta_T}{1 - \delta_T}. \quad (4.12)$$

За извършване на количествена оценка на безотказността се използват два плана:

- план за оценка на $P(t)$ при произволно избрано $t = t_P$;
- план за оценка на T или λ .

В първия случай P_0 се определя чрез T_0 при избрано t_P от израза:

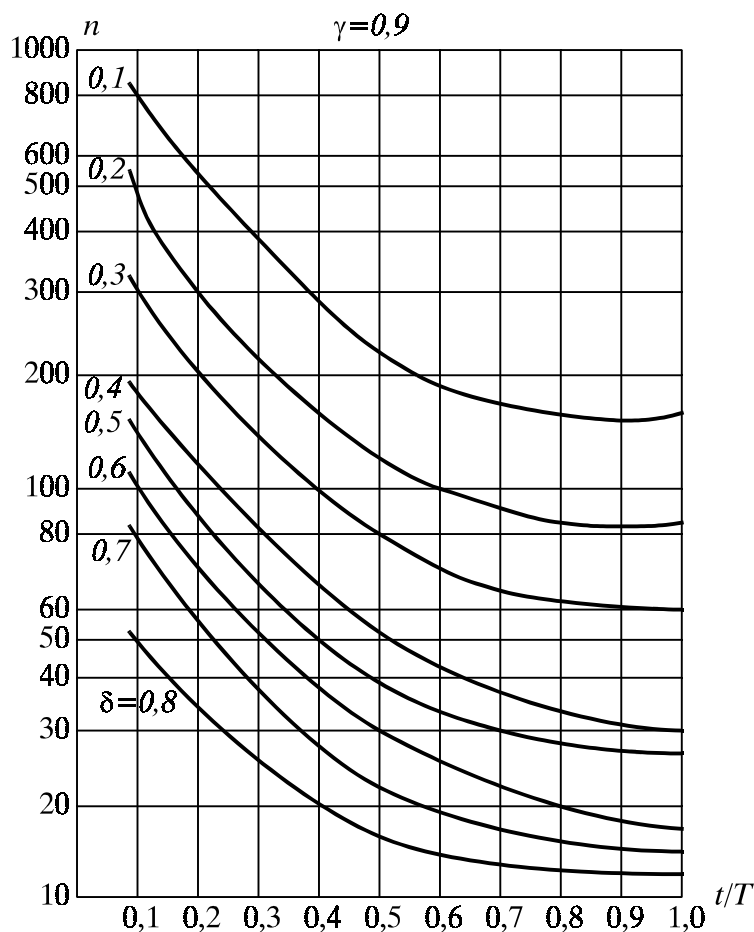
3. От съответната таблица се избират всички онези клетки, за които се изпълнява условието $\frac{n-d}{n} = P_0$.

4. От стойностите, които удовлетворяват условието на т. 3 се избира онази, която е равна или най-близка до пресметнатата стойност на P_1 в т. 1, т.е. $P_1 \approx P_0$.

5. От съответната таблица при избрано P_0 се определя необходимия брой опити n . Зависимостта $n = f(P_0)$ за $\gamma = 0,9$ е показана на

$$P_0(t_P) = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (4.13)$$

След това по горе посочената методика се определя броят на опитите. Принципно погледнато t_P може да се избира произволно, но от избора му зависи броят на необходимите опити n . Очевидно с увеличаване на t_P n трябва да намалява. На фиг. 4.5 са посочени зависимостите от вида $n = \varphi\left(\frac{t}{T}\right)$ при различни δ и γ .



Фиг. 4.5. Зависимост на броя на отказите от отношението t/T при доверителна вероятност $\gamma = 0,9$.

дава с израза:

$$t_{\Sigma} = t_{\Sigma\Phi} \frac{d_{pl}}{d_{pl} - 1}, \quad (4.14)$$

където $t_{\Sigma\Phi}$ е фактическата сумарна отработка.

Планирането на изпитванията за оценка на T се свежда до определя-

При втория план се изпитват произволен брой МЕИ, които могат да се заменят с нови или да не се заменят. Изпитването се прекратява в произволно избран момент, към който се пресмятат сумарната отработка на изпитваните образци t_{Σ} и общият брой откази d_{Σ} .

Друг вариант на плана е, когато изпитванията завършват при появата на $d = d_{pl}$ (d_{pl} — планиран брой откази) на брой откази. Различията в двете схеми са по отношение на определянето на t_{Σ} и долната и горната граници на получените точкови оценки. Когато се изпитват МЕИ до появата на определен брой откази, сумарната отработка се

нето на минималния брой откази d , осигуряващ зададени достоверност γ и точност δ , а в резултат и продължителност на изпитване $\overline{t_E}$.

4.2.2. *Определителни изпитвания за дълготрайност и съхраняемост*

Определителните изпитвания за съхраняемост и дълготрайност имат своите особености, които са преди всичко от организационен характер.

За безотказността първото характерно състояние е — на работоспособност, а второто — на отказ. При изпитване за дълготрайност и съхраняемост е обратно. При изпитванията за надеждност опитът започва с МЕИ, които са в своето първо характерно състояние.

Опитите могат да протичат в два варианта. В първия вариант опитите продължават определено (планирано) време, след което се прави анализ за състоянието на изделието, т.е. дали има преход от едно в друго състояние. Получената по този начин информация не е пълна. При втория вариант опитите продължават до момента на прехода от едно състояние в друго. Времето за прехода в случая е реализация на случайната величина T и носи по-голяма информация. Разликата при организирането на изпитванията в двата варианта е съществена. В първия случай, изпитваните образци се контролират еднократно, а във втория — многократно. Първият вариант на провеждане на изпитвания се използва преди всичко за оценка на показатели като $P(t)$ и $Q(t)$, а вторият — на T .

Изпитване за съхраняемост. Съхраняемостта се характеризира с редица особености. Главната е, че основните характеристики на МЕИ, които трябва да се запазват в определени граници по време на съхранението им, включват и безотказността и дълготрайността им.

При определяне например на средното време на съхранение T_c се регистрират моментите на преминаване на изделията от първо във второ характерно състояние. Това изисква да се осъществи многократен контрол, при което резултатите t_{ci} ще бъдат определени с големи грешки и в този смисъл оценката ще бъде неточна. По-добре е да се оцени показателя вероятност за съхранение на основните характеристики за фиксирано време $t_f(\tau)$. И в този случай изпитванията имат голям обем и поради това те не са задължителни. Те се правят на базата на реален (натурен) експеримент с изделия, намиращи се в експлоатация. При отчитане на посочените съображения, определянето на $t_f(\tau)$ се извършва на два етапа:

1. Провеждане на експеримент с опитните образци в условията на

съхранение, посочени в техническата документация.

2. Провеждане на контролни изпитвания на образците по всички технически показатели (в това число и за безотказност).

Схемата на провеждане на изпитването е следната. Провеждат се едновременно n опита, всеки от които се изразява в съхраняването при определени условия на едно изделие в продължение на време τ . След завършване на планираните опити, всяко от изделията се подлага на контрол за съответствие с техническите изисквания и на контролни изпитвания за безотказност. Определя се общият брой образци (откази), които не са издържали изпитването. Резултатите от експеримента са броят на опитите n и d_{Σ} . Аналогията с провеждането на ОИИ по плана за оценка на $P(t)$ е очевидна. Разликата е в това, че всеки опит продължава определено време τ , следователно общата продължителност на съхранение не е случайна величина $t_{\Sigma c} = n\tau$.

Планирането става с помощта на фиг. 4.4.

Изпитванията на съхранение се провеждат в условията на отопляем склад. В отделни случаи уговорени в ТД могат да се провеждат и под навес, което съответства на утежнени условия на продължително съхранение. Извадката за изпитване не се формира едновременно, а постепенно в рамките на 2 години. Преди изпитването изделията престояват при нормални климатични условия около 2 часа, след което се провежда външен оглед, измерват се параметрите, избрани за критерий за годност. В качеството на критерий за оценка се приема стойността на гама-процентния срок на съхранение.

Изпитване за дълготрайност. Показателите за надеждност, получени по резултатите от приемо-предавателните изпитвания не могат да бъдат непосредствено използвани за пресмятане на експлоатационната надеждност на МЕИ. За тази цел се провеждат изпитвания за дълготрайност и изпитвания за определяне на гама-процентния ресурс. Това са ресурсни изпитвания, които са трудоемки, продължителни (до 100 хиляди часа) и са свързани с големи икономически загуби. По количествените показатели на надеждността, получени в резултат на ресурсни изпитвания се съди за повишаването на производствената надеждност на МЕИ.

Трудностите при организирането и провеждането на изпитванията за дълготрайност са свързани с определението на понятието гранично състояние — второто от двойката характерни състояния. Като критерии за формулирането на понятието могат да служат допустимите стойности на показателите за назначение. Друго, което ограничава провеждането на изпитвания за дълготрайност е техният обем. Зато-

ва те не са задължителни за повечето изделия. Както и в случая с проверката за съхраняемост опитите се провеждат паралелно и са с регламентирана продължителност. Планирането и обработката на резултатите се извършват с помощта на фиг. 4.4.

Баесовски подход при планиране и провеждане на контролните и определителните изпитвания. Разглежданите до тук статистически методи за контрол и оценка на надеждността не отчитат „миналия опит“ (апериорната информация) от проведените до момента изпитвания на опитните образци. Отчитайки „поведението“ на изделието в предишните му изпитвания, може с определена увереност да се оценят характеристиките на нова модификация или партида МЕИ. Ако тази увереност се изрази количествено може с помощта на баесовски подход [12] да се пресметне количествено апостериорната вероятност на приетата хипотеза. Коректността на този подход изцяло зависи от обективността на избраното апериорно разпределение и по-точно от неговите параметри. Основното преимущество на баесовския подход е, че той дава възможност за съкръщаване на последния експеримент при повишена достоверност на получените резултати.

4.3. Гранични и матрични изпитвания за надеждност на МЕИ

4.3.1. Гранични изпитвания на МЕИ

Граничните изпитвания се извършват на етапа на проектиране и при внедряване в производство. В първия случай е необходим математически модел, за да се реализира изпитването на ЕИМ. При невъзможност за създаване на модел поставената задача се решава графично. Резултатите от граничните изпитвания са графики във вид на отворени или затворени контури. Конфигурацията им зависи от вида на МЕИ и границите на изменение на параметрите.

Граничните изпитвания се провеждат в три последователни етапа:

1) Изследват се входните и изходните параметри на МЕИ и се избира един или няколко критерия за отказ.

2) Определят се границите на нормална работа на изделието в зависимост от изменението на различни въздействия: входни параметри, външни условия, хранващи напрежения и т.н. Границите на нормална работа се установяват в съответствие с критериите за отказ, избрани през първия етап.

3) Определят се границите на нормална работа на изделията в зависимост от изменението на параметрите на въздействащите фактори.

Граничните изпитвания се провеждат за определяне на разрушаващите и на безопасните нива на натоварванията. Тези изпитвания се провеждат при различни електрически, механични, климатични режими до получаване на определен брой откази в извадката или до достигане на зададено ниво на въздействащия фактор. Нивото на граничното (разрушаващото) натоварване се определя като ниво на въздействие (степен на натоварването), при което се получават 50 % от отказите.

Пълният обем гранични изпитвания включва: термоудар, термоцикли, единичен удар, високотемпературно съхранение, работоспособност при електрическо натоварване.

Гранични изпитвания се провеждат за проверка на влиянието на конструктивно-технологичните изменения върху надеждността. В този случай се избира само този вид изпитвания, който в най-голяма степен характеризира извършените изменения.

Преди изпитването и след всяка стъпка от изпитването се измерват електрическите параметри на критерия за годност.

Гранични изпитвания могат да се провеждат и при серийно производство на МЕИ, с цел повишаване нивото на надеждност и дълготрайност.

4.3.2. Матрични изпитвания за надеждност

Матричните изпитвания са естествено развитие на метода на граничните изпитвания и се прилагат при проверка на надеждността на МЕИ по отношение на постепенните откази.

В процеса на матрични изпитвания се моделират възможните състояния на изделието, при които неговите параметри удовлетворяват изискванията в ТД. Всичките възможни състояния съставят матрицата на състоянията. *Ситуации* се наричат състоянията на изделието, когато всеки от определящите параметри се намира в зададени граници, при това във всяка ситуация всеки параметър се среща само веднъж. Очевидно при голям брой променливи параметри са необходими много опити. В практиката се налагат и изпитвания при които матричните се съчетават със статистически изпитвания (метод Монте-Карло).

С получените резултати от матричните изпитвания може да се оцени вероятността изделието да е работоспособно в даден момент.

4.4. Натурни, нулеви и ускорени изпитвания за надеждност

4.4.1. Натурни изпитвания за надеждност

Изпитвания на МЕИ, които се провеждат в естествените условия на околната среда се наричат натурни. Целите и възможностите на натурните (понякога се наричат естествени) изпитвания са:

— получаване на достоверна информация за комплексното влияние на факторите на околната среда върху параметрите на критериите за годност;

— уточняване на методите за защита на МЕИ от външни въздействия;

— определяне на методите и режимите на лабораторните изпитвания;

— изследване характера на реалните физико-химични процеси, протичащи в изделията при въздействие на естествените фактори на околната среда.

Тези изпитвания са сложни, продължителни и с висока стойност. Изборът на условията за натурните изпитвания се извършва след анализ на резултатите от експлоатацията, лабораторните изпитвания и изискванията към МЕИ.

На натурни изпитвания е достатъчно да се подложат само един тип представителни изделия, характеризиращи дадена група, а след това резултатите от изпитванията се разпространяват за цялата група.

Най-разпространени са натурни изпитвания на МЕИ, провеждани на климатични изпитвателни станции при въздействие на климатични фактори.

В зависимост от приложението на изделията изпитванията се провеждат на откритая площадка, под навес или в помещение. МЕИ се помещават или в специални контейнери или в кожуха на ЕА или в опаковка на производителя.

Контейнерите, предназначени за изпитване в условията и режимите на експлоатация представляват железни шкафове с жалюзи и имитират нехерметизирана апаратура. МЕИ се разполагат в специални касети, които се поставят в контейнерите. Контейнерите и касетите са оборудвани с приспособления и кабели за подаване на електрическо захранване на изпитваните МЕИ.

Предвиждат се два режима на изпитване:

— под електрически товар (непрекъснат или цикличен), имитиращ експлоатацията в състава на ЕА;

— без електрическо захранване, за определяне на функционирането на изделията след съхраняване.

Голямо практическо значение има информацията за надеждността на МЕИ в условията на открития космос. С тази цел се провеждат изпитвания на МЕИ в условията на естествени въздействия на факторите на космическото пространство (висок вакуум, земното магнитно поле, космически излъчвания).

4.4.2. Нулеви изпитвания за надеждност

Нулевите изпитвания се изразяват в измерване на косвен параметър, свързан с показателите на надеждността. Такива параметри са шумовите характеристики, преходните топлинни характеристики и др.

Изпитване на ПП прибори и ИС по шумови характеристики. Експериментално спектралната плътност се определя от израза:

$$G(f) = \frac{U_n^2}{\Delta f} \text{ или } G(f) = \frac{i_n^2}{\Delta f}, \quad (4.15)$$

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

където
$$\Delta f \ll \frac{f_1 + f_2}{2}.$$

Спектралните плътности на мощността на топлинния и на генерационно-рекомбинационния шум не зависят от честотата и затова се отнасят към шумовете с бял спектър. Тези два шума не са свързани пряко с дефектите в приборите и не съдържат допълнителна информация за потенциално ненадеждностните прибори.

Най-голям интерес представлява нискочестотният шум, чиято спектрална плътност е пропорционална на $1/f^\gamma$, където γ е коефициент, характеризиращ вида на спектъра.

Първоизточниците на нискочестотен шум в ПП МЕИ и ИС са:

1) Бавни процеси на дифузия, които водят до:

— изравняване на концентрацията на примесите в областта на $p-n$ прехода;

— разширяване на $p-n$ прехода;

— дифузия на примеси по дислокациите.

Нарастването на шума е признак за деградация на активните области на ПП структура, която може да доведе до пълен отказ.

2) Обемни нееднородности (примеси, дислокации, микропукнатини), които водят до:

— образуване на центрове на захващане на носители в областта на пространствения заряд близо до средата на забранената зона и в следствие до модулация на тока през $p-n$ прехода.

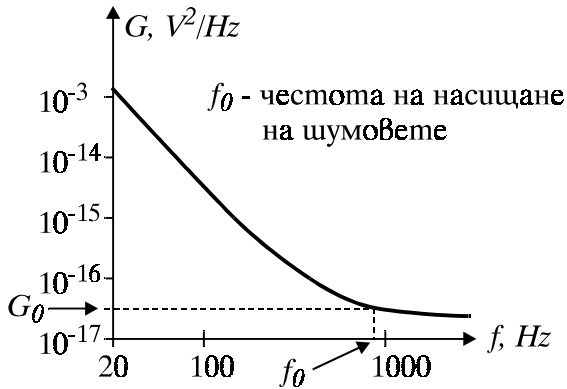
3) Бавни състояния в окиса и на границата диелектрик-силиций, кои-

то водят до:

— изменение на пространствения заряд в обеднената област близо до повърхността и следователно до изменение на потенциалната бариера и тока през $p-n$ прехода.

4) Лошокачествени контакти, които водят до:

— флукутация на тока през контакта.



Фиг. 4.6. Зависимост на спектралната плътност на мощността на шумовете от честотата.

На фиг. 4.6 е показана експериментална зависимост на спектралната плътност на мощността на шумовете. При определена честота (честота на насищане) $f_0 \cong 1$ KHz спектралната плътност става постоянна и равна на G_0 . Тогава може да се запише:

$$G(f) = \begin{cases} G_0 \left(\frac{f_0}{f}\right)^{\gamma_n}, & f < f_0 \\ G_0, & f > f_0 \end{cases} \quad (4.16)$$

От тази зависимост може да се по-

лучи израз за коефициента γ_n .

$$\gamma_n = \frac{\lg \frac{G(f)}{G_0}}{\lg \frac{f_0}{f}}. \quad (4.17)$$

Така шумовите характеристики на ПП МЕИ и ИС се характеризират с трите параметъра: G_0 , f_0 и γ_n . След като се определят G_0 и f_0 може да се пресметне γ_n и да се построи зависимостта $G(f)$.

Усреднените експериментални стойности на шумовите параметри при $f = 20$ Hz са: $G_0 = 6 \cdot 10^{-15} \div 10^{-14}$ V^2/Hz за ГИС и $G_0 = 10^{-17} \div 1,5 \cdot 10^{-6}$ V^2/Hz за ИС. За обхвата $20 \div 8000$ Hz за ИС е в сила зависимост (4.16), а стойностите на γ_n са от 0,9 до 1,8.

При използването на този нулев метод за изпитване на надеждността се приемат следните обстоятелства:

1. Шумовите параметри на транзисторите се корелират с пробивните свойства на приборите. Отхвърлянето на транзистори с повишени шумове в предпробивната област стабилизира партидата по пробивно напрежение.

2. Коефициентът на корелация между коефициента на шума и кое-

фициента на усилване е 0,6. Следователно, с отстраняването на транзистори с повишени шумови характеристики се повишава стабилността на партидата изпитвани изделия по коефициент на усилване.

3. Наличието на повишени контактни шумове дава информация за качеството на контакта и за дефекти в областта на контакта метал-силиций. С бракуването на прибори с повишени шумове се повишава устойчивостта им към топлинни и механични натоварвания.

4.4.3. Ускорени изпитвания за надеждност

Потвърждаването на високите стойности на надеждността на МЕИ от порядъка на $\lambda = 10^{10} h^{-1}$ с преки изпитвания е практически невъзможно и неикономично. Възможните съотношения на броя МЕИ и продължителността на изпитване за този случай са дадени в табл. 4.2. Изход от тази ситуация дава прилагането на ускорени изпитвания и на методите за прогнозиране на надеждността.

Табл. 4.2. Съотношения между продължителността на изпитване и брой на изпитваните МЕИ за доказване на $\lambda = 10^9, h^{-1}$.

Брой МЕИ	Продължителност на изпитване, h^{-1}
1000	10^6 (130 години)
10000	10^5 (13 години)
100000	10^4 (1,3 години)

Ускорените изпитвания се разглеждат като разновидност на физическото моделиране. Така при умален мащаб на времето може да се оцени надеждността на МЕИ. Ускоряващи фактори могат да бъдат механичните въздействия, влагата, температурата, електрическото натоварване. При ускорени изпитвания е необходимо разпределението на отказите във времето и по причините за възникването им

(прекъсване, пробив и т.н.) да съответства на разпределението на отказите при нормални изпитвания. Така може да се счита, че ако броят на фиксираните откази при ускорените изпитвания k_y е равен на броя на отказите при нормални изпитвания k_0 то са в сила равенствата:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_y &\approx F_y \lambda_0; \\ n_y &= n_0; \\ d_y &= d_0; \end{aligned} \right\}, \quad (4.18)$$

където λ_y , n_y и d_y са съответно интензивност на отказите, обем на изпитванията и брой на отказите при провеждане на ускорени изпитвания на надеждност; λ_0 , n_0 и d_0 — същите при провеждане на нормални (неускорени) изпитвания на надеждност; F_y — коефициент (или фактор) на ускорение.

Формулата за определяне на ускореното изпитване е:

$$t_y = \frac{t_0}{F_y}, \quad (4.19)$$

където t_y — продължителност на нормалното изпитване.

Възможните видове откази на МЕИ могат да бъдат твърде различни. Различни могат да бъдат и причините, които ги предизвикват. Ускоряващите фактори, повишаващи интензивността на отказите по често в различна степен ускоряват всеки от отказите.

Практическо приложение е намерил моделът на Арениус - Ойринг за скоростта на протичане на процеса на деградация в МЕИ.

$$dp(T, S)/dt = A(kT/h) \exp(-E_a/kT) \exp[f(S)n(T)], \quad (4.20)$$

където p е измервания параметър; E_a — енергия на активация на процеса на стареене; T — абсолютна температура; k — константа на Болцман; h — константа на Планк; $f(S)$ — функция на параметъра на нетермичното натоварване $n(T) = C + (d/kT)$; A, C — емпирична константа.

Уравнението свързва скоростта на реакция с температурата, а повечето химически реакции протичат под въздействие на температурата. Затова $dM/dt = C \exp(-B/T)$, където dM/dt е скоростта на реакцията; C — константа; T — температура, K ; B — коефициент, получен от уравнението $B = qA/k$, където q е заряд на електрона, C, E_a — енергия на активация.

Ако уравнението се интегрира се получава:

$$\int_{M_1}^{M_2} dM = \int_{t_1}^{t_2} C \exp(-B/T) dt, \quad (4.21)$$

където $M_2 - M_1 = C \exp(-B/T)$. След преобразуване и логаритмуване се получава:

$$1/T = 1/B \ln t - 1/B \ln[(M_2 - M_1)/C] \quad (4.22)$$

Ако се обозначи $-1/B \ln[(M_2 - M_1)/C] = C_1$, се получава $1/T = 1/B \ln t + C_1$.

Ако логаритъмът е десетичен, то $1/T = 2,303/B \ln t + C_1$. Ако се обозначи $B = qE_a/k$ и се приеме $C_2 = C_1$ се получава уравнението:

$$1/T = 2,303/qE_a \lg t + C_2. \quad (4.23)$$

То се свежда до уравнение на права линия $y = mx + C_2$. Понеже $y = 1/T$; $x = \lg t$; $m = 2,303/B$, следва че $1/T = m \lg t + C_2$.

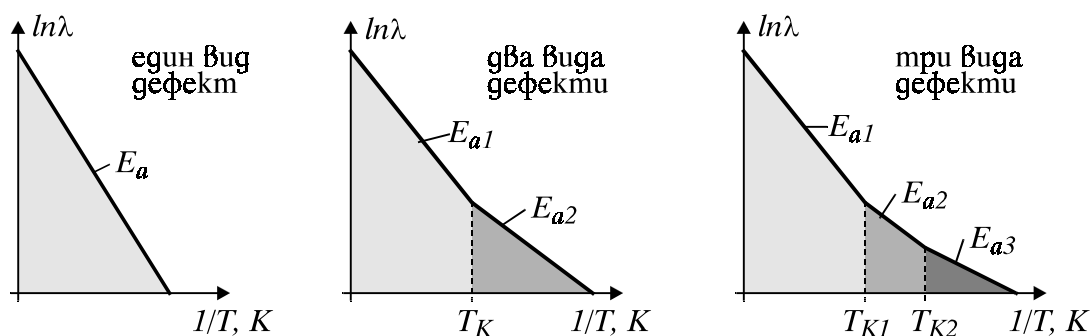
Доколкото k и q в (4.23) са константни стойности, наклонът на линията на ускорението зависи от енергията на активацията. Затова по

стойността на E_a може да се съпоставят резултатите от изпитването на две партиди или два типа МЕИ. Колкото стойността на E_a е по-голяма, толкова е по-малък наклонът и по-голям експлоатационният срок на МЕИ. Методът за определяне на енергията на активация се заключава в определяне на тангенса на ъгъла на наклона на линията, получен при построяване на графиката $1/T$ в зависимост от $lg t$.

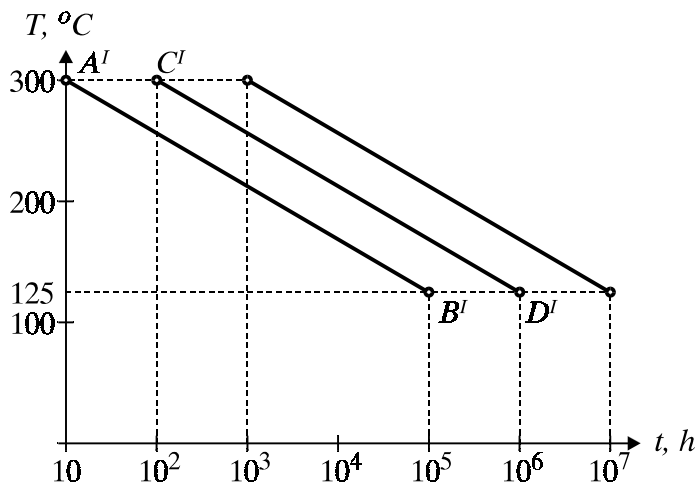
Най-голям ефект дават ускорените изпитвания в електрически режим при повишена температура. Обикновено при избора на режима за такива изпитвания се изхожда от закона на Арениус, свързващ интензивността на отказите с ускоряващия фактор (температура, захранващо напрежение, и т.н.):

$$\lambda(t) = K_\lambda \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (4.24)$$

където K_λ е коефициент свързан с надеждността на изпитваното МЕИ. При построяване в полулогаритмичен мащаб на тази зависимост, по формата на кривата може да се съди за стабилността на механизма, отговорен за даден вид откази. От графиката може да се определи енергията на активация. На фиг. 4.7 са дадени примери на възможни варианти на зависимости на $\lambda(t)$ от нивата на топлинното и електрическото натоварване на МЕИ.



Фиг. 4.7. Зависимост на интензивността на отказите и на E_a на дефектите от степента на натоварване (T_K - критична температура на активация на дефекта).



Фиг. 4.8. Зависимост на средната отработка до отказ от температурата на изпитване на МЕИ при електрическо натоварване.

фиг. 4.8.

Ако се предположи, че в температурния обхват $+300 \dots +125^\circ\text{C}$ действа един и същ механизъм на отказите, може да се направи следния извод. Изпитванията на $+300^\circ\text{C}$ за 10 часа (точка A') са идентични по своето въздействие на изпитвания за 10^5 часа при температура $+125^\circ\text{C}$ (точка B'). Коефициентът на ускорение е 10^4 . При увеличаване продължителността на ускорените изпитвания при $+300^\circ\text{C}$ характеристиката се измества надясно. Това свидетелства за значително повишаване на надеждността на МЕИ спрямо първоначалното ниво (точки A' , B').

4.5. Методи на електротермично изпитване за надеждност на МЕИ

Електротермичното изпитване е важна процедура в технологичното трениране на МЕИ за откриване на ранни откази и за намаляване на тяхната интензивност. От друга страна успешно се прилага при оценка и прогнозиране на надеждността. Техническите условия на електротермичното изпитване, които се използват за определяне на надеждността се дават в стандартите [34, 37].

Електротермичното изпитване представлява напрегнато функциониране на МЕИ при комбинирано въздействие на определени електрически и топлинни условия за ускорено стареене на изделията. При това

За провеждане на ускорени изпитвания се избира обхват на натоварването, даващ постоянна енергия на активация на дефектите. По резултатите от изпитванията се построява в двоен логаритмичен мащаб семейството характеристики на зависимостта на средната отработка до отказ от температурата при съответно електрическо натоварване. Пример за такова семейство характеристики е даден на

изпитване обикновено се прилагат:

1. Повишена температура с включено електрическо захранване — най-евино и най-малко ефективно.

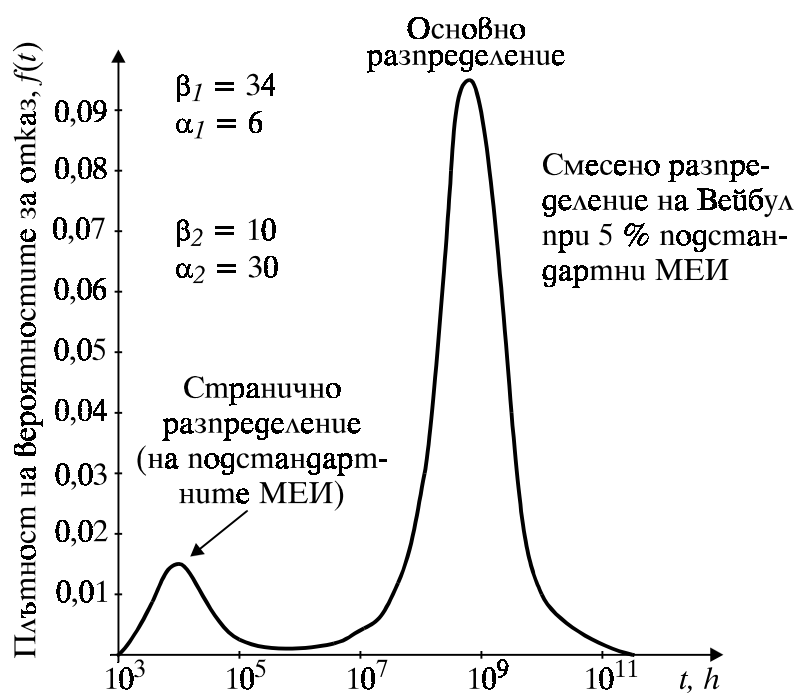
2. Повишена температура с включено захранване и подаване на обратно преднапрежение на всички входове (High Temperature Reverse Bias — *HTRB*) — достатъчно ефективен метод с умерени икономически разходи за повечето МЕИ.

3. Повишена температура, включено електрическо захранване, подадени динамични сигнали на входовете и пълно натоварване на изходите — ефективен, но скъп метод.

4. Съчетаване на оптимално преднапрежение с температури в диапазона $200 \div 300^\circ\text{C}$ (High Temperature Operating Test — *HTOT*) — неприемлив за МЕИ в пластмасови корпуси, скъп и трудно изпълним.

5. Съчетаване на продължителен функционален контрол и трениране (Burn-In Test System — *BITS*) — най-добрия метод. Известен е и под наименованието *динамично електротермично изпитване*.

Основно се използват три метода за провеждане на електротермично изпитване на МЕИ: последователен, многослоен и метод на Барлоу.



Фиг. 4.9. Двумодално разпределение на отказите в МЕИ, съставено от две разпределения на Вейбул.

съставка, която изхожда от областта на ранните откази образува страничното разпределение за сметка на ранните откази, които са малка част от общия брой на отказите на МЕИ.

Тези методи се основават на понятието за двумодално разпределение на отработката до отказ. Двумодалното разпределение се представя като суперпозиция от две криви. На фиг. 4.9 е показано двумодално разпределение, съставено от две разпределения на Вейбул. Съставката на двумодалното разпределение, която има най-голям дял и е изместена към очакваното време за живот се означава като основно разпределение. Другата

4.5.1. Последователно електротермично изпитване

Този метод изисква предварителни познания за надеждността на МЕИ. За провеждането на изпитването трябва да се знаят:

а) — доверителната вероятност. Тук доверителната вероятност се използва в по-друг смисъл за характеризирание на статистическия план. Т.е. това е вероятността за приемане на нулевата хипотеза ($H_0: k = 0$). Когато нулевата хипотеза не е вярна, е равна на 1 минус доверителната вероятност.

б) — параметрите на разпределението на слабата съвкупност на МЕИ. Това е съвкупността от елементите, в които настъпват откази в началния етап на експлоатация. За експоненциално разпределение на отработката в този етап трябва да се знае средната отработка до отказ T_{cp} , а при разпределение на Вейбул — параметъра на мащаба α и параметъра на формата β .

в) — колко „слаби“ (потенциално ненадеждни) МЕИ k може най-много да останат след изпитването.

В последователното изпитване процесът продължава, докато се достигне зададеното време между отказите.

С $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_j$ се означава отработката до отказ. Нека

$$Y_j = - \ln 1 - F(t_j), \quad (4.25)$$

където $F(t_j)$ е вероятността за отказ, т.е. $F(t)$, е интегралната функция на разпределение. Ако

$$W_i = Y_i - Y_{i-1} \quad (Y_0 = 0)$$

(4.26) е в i -тия очакван интервал между появата на отказите, то изпитването се прекратява когато

$$W_i \geq W^*, \quad (4.27)$$

където W^* е нормиран очакван интервал от време между отказите при изпитването. Той е табулирана величина, която е изчислена при условие след прекратяване на изпитването броят на слабите елементи в партидата при определена доверителна вероятност да бъде съответно най-много $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$.

Когато се планира изпитване, от първостепенно значение е очакваното време до завършването му, т.е. предполагаемата му продължителност. Този параметър се изчислява [13] или се определя от съответните таблици за известен брой комбинации на W^* и n .

При започване на изпитването се задават:

— брой на МЕИ в партидата;

— очаквания брой (в %) потенциално ненадеждни МЕИ в партидата;

— доверителната вероятност.

Едновременно с това трябва да се определи продължителността на изпитването.

За да се отговори на този въпрос е необходимо да се знае или да се оцени разпределението на отработките до отказ на МЕИ, в които настъпват откази през време на изпитването. Методът може да се прилага при експоненциално и при Вейбулово разпределение на отработките до отказ на слабите МЕИ.

Ако разпределението е вейбулово, то

$$Y_i = \ln[1 - F(t_i)] = -\ln \exp[-(t_i/\alpha)^\beta] = \left(\frac{t_i}{\alpha}\right)^\beta. \quad (4.28)$$

Последователното изпитване в случая може да се спре, когато очакваното време без откази е:

$$W_i = Y_i - Y_{i-1} > W^*. \quad (4.29)$$

Ако в израза (4.29) се замести Y_i с $Y_i = (t_i/\alpha)^\beta$, ще се получат следните уравнения:

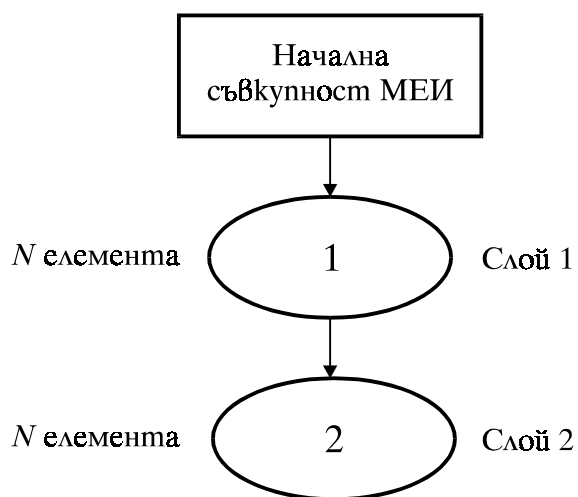
$$\begin{aligned} \left(\frac{t_i}{\alpha}\right)^\beta - \left(\frac{t_{i-1}}{\alpha}\right)^\beta &\geq W^*, \\ \left(\frac{1}{\alpha}\right)^\beta \left[(t_i)^\beta - (t_{i-1})^\beta \right] &\geq W^*, \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\Delta \equiv t_i^\beta - t_{i-1}^\beta \geq W^* (\alpha)^\beta.$$

Както се вижда приложението на последователното трениране е по-сложно при разпределение на Вейбул. При него не е възможно предварително да се изчисли предполагаемата продължителност на изпитването. При всеки отказ трябва да се изчислява нарастъка Δ .

4.5.2. Многослойно изпитване за надеждност

Недостатък на последователния метод на изпитване е, че винаги той завършва с по-малък брой работоспособни МЕИ от първоначално заложените. Ако е необходимо да се разполага с определен брой изпитани МЕИ в определени моменти от време се препоръчва многослойното изпитване.



Фиг. 4.10. Блокова схема на двуслойно изпитване на МЕИ.

На фиг. 4. 10 е дадена блоковата схема на двуслойно електротермично изпитване. Броят на слоевете може да бъде и друг.

При провеждане на това изпитване се приема, че се разполага с неограничена начална статистически еднородна съвкупност от МЕИ.

При започване на изпитването в нулевия момент от време от нея се вземат $2N$ на брой елементи, които се разделят на две равни части и се подлагат на изпитване в камерите като слой 1 и слой 2. Когато някое МЕИ от слой 2 откаже, то се замества с изделие от слой 1.

На свой ред в слой 1 се добавя МЕИ от началната съвкупност. След време t_b завършва изпитването на най-ниския слой. В същото време МЕИ от слой 1 се преместват на мястото на слой 2, а от началната съвкупност МЕИ се формира нов слой 1. Когато процесът протича непрекъснато, след всеки t_b часа могат да се изваждат N на брой МЕИ от най-ниския слой.

При този метод се прави допускането, че времето за заместване на отказало изделие е много по-малко от времената между отказите.

4.6. Организация на изпитванията за надеждност

4.6.1. Основни моменти при провеждане на изпитване за надеждност

Основните въпроси при организирането на изпитванията за надеждност са: избор на момента и метода за изпитване, подготовка на опитните изделия, избор на условията и режимите на изпитване и съставяне на програмата за изпитване.

Избор на момента и методите за изпитване. Изборът на момента за изпитване в действащите нормативни документи все още не е еднозначно определен. Изпитванията за надеждност трябва да се провеждат на стадиите опитен образец, пробна серия и периодично за изделията от редовното производство [3]. Но за производствения етап не се посочва еднозначно каква трябва да бъде процедурата контролна или определителна. Когато в техническото задание фигурира нормиран надеждностен показател е целесъобразно провеждането на КИН. Ако по-

казателите не са нормирани се провеждат ОИН и оценката се внася в проекта за стандартизационен документ. На етап пробна серия е целесъобразно да се извършва ОИН.

При изпитване на МЕИ в редовно производство се извършват КИН с периодичност, посочена в нормативния документ на изделието. В табл. 4.3 са показани препоръчителни надеждностни изпитвания за етапите през времето на живот на МЕИ.

Табл. 4.3. Надеждностни изпитвания за етапите през времето на живот на МЕИ

Етапи на производство	Вид на изпитването		Показатели
	Препоръчва се	Допълнително	
Опитен образец	КИН	ОИН	безотказност
Пробна серия	ОИН	—	безотказност
Серийни образци	КИН	ОИН	безотказност
Серийни образци	ОИН	—	безотказност съхраняемост дълготрайност

При КИН по алтернативен признак най-разпространен е последователният метод. Той е ефективен при $\alpha \neq \beta$ и близки по стойност P_1 и P_2 . Най-важните предимства на последователния метод са съкращаване на обема на из-

вадката при едновременно отчитане интересите на производителя и възложителя. Недостатък е неопределеността и трудността при организацията на изпитванията, когато фактическата надеждност не е близка до нивата P_1 или P_2 . Изход от положението е вземане на решение по критерия на Нейман-Пирсън.

Методът на еднократната извадка е за предпочитане, поради еднозначността при вземане на решение. Той трябва да се използва, когато стойностите P_1 и P_2 не са близки и отношенията T_1/T_2 и Q_1/Q_2 са големи.

Методът на двукратната извадка се използва при оценка на високонадеждни МЕИ, тъй като дава икономия в сравнение с еднократната извадка около 20 % по брой на изделията. В същото време продължителността на изпитванията расте. Обикновено се прилага при оценка на показатели от вида $P(t)$, $Q(t)$ за фиксиран интервал от време.

Изборът на метод за изпитване при ОИН се свежда до избора на подходящ план на изпитване.

Избор на стойност на параметрите на критерия за годност (отказ) при изпитване на МЕИ. В зависимост от установените критерии за условен отказ количествените показатели на надеждността ще

бъдат различни. При избора на критерии трябва да се отчита, че някои параметри могат да се променят във времето поради стареене и износване на изделието. Затова и критериите за годност се установяват със запас, осигуряващ висока надеждност на изделието за зададено време. Колкото е по-голям запаса толкова вероятността за безотказна работа е по-голяма.

Например за потвърждаване на ниво на надеждност $P = 0,999$ за време на изпитване $t_U = 500$ часа при $C = 2$ и $\beta = 0,1$ трябва да се подложи на изпитване извадка с обем $n = 5318$.

Така производителят трябва от една страна да осигури високо ниво на предаване на продукцията, а от друга високото ниво на надеждността затруднява тази оценка. Изход от това положение се намира, като се определи зависимостта на показателите на надеждността от избраните критерии.

Ако отново се избере показател на надеждността $P = 0,999$ и съответно за тази избрана стойност се установи критерий за годност, то при равни условия с предишния пример ($t_U = 500$ часа при $C = 2$ и $\beta = 0,1$) е необходимо да се изпитва извадка с обем $n = 52$, без да се изменя действителната надеждност на изделието.

В същото време намаляването на показателя на надеждността за сметка на утежняване на критериите позволява рязко да се съкрати обема на извадката до разумни граници.

С усъвършенстването на технологията надеждността на МЕИ се повишава. Избраният условен показател на надеждността трябва да не се променя. В противен случай се увеличава обемът на извадката. Затова в производството за даден параметър се установяват различни норми при технологичните и при контролните изпитвания.

Утежняването на критериите за годност има смисъл само при преобладаващи условни откази. Ако интензивността на пълните откази е сравнима или превъзхожда интензивността на условните откази, то такава утежняване е по-малко ефективно за снижаване на нивото на показателите, отколкото утежняването на режимите на изпитване.

Избор и подготовка на изпитваните изделия. В предпроизводствения етап изпитването на надеждност се провежда с опитните образци (или серии). В повечето случаи техният брой е такъв, че всички трябва да участват в планирания експеримент. Съгласно идеите на извадковия контрол опитните образци се разглеждат като представителна извадка на МЕИ, които могат да бъдат изработени по същата документация в редовно производство.

Всички опитни изделия (образци) преди провеждането на надежднос-

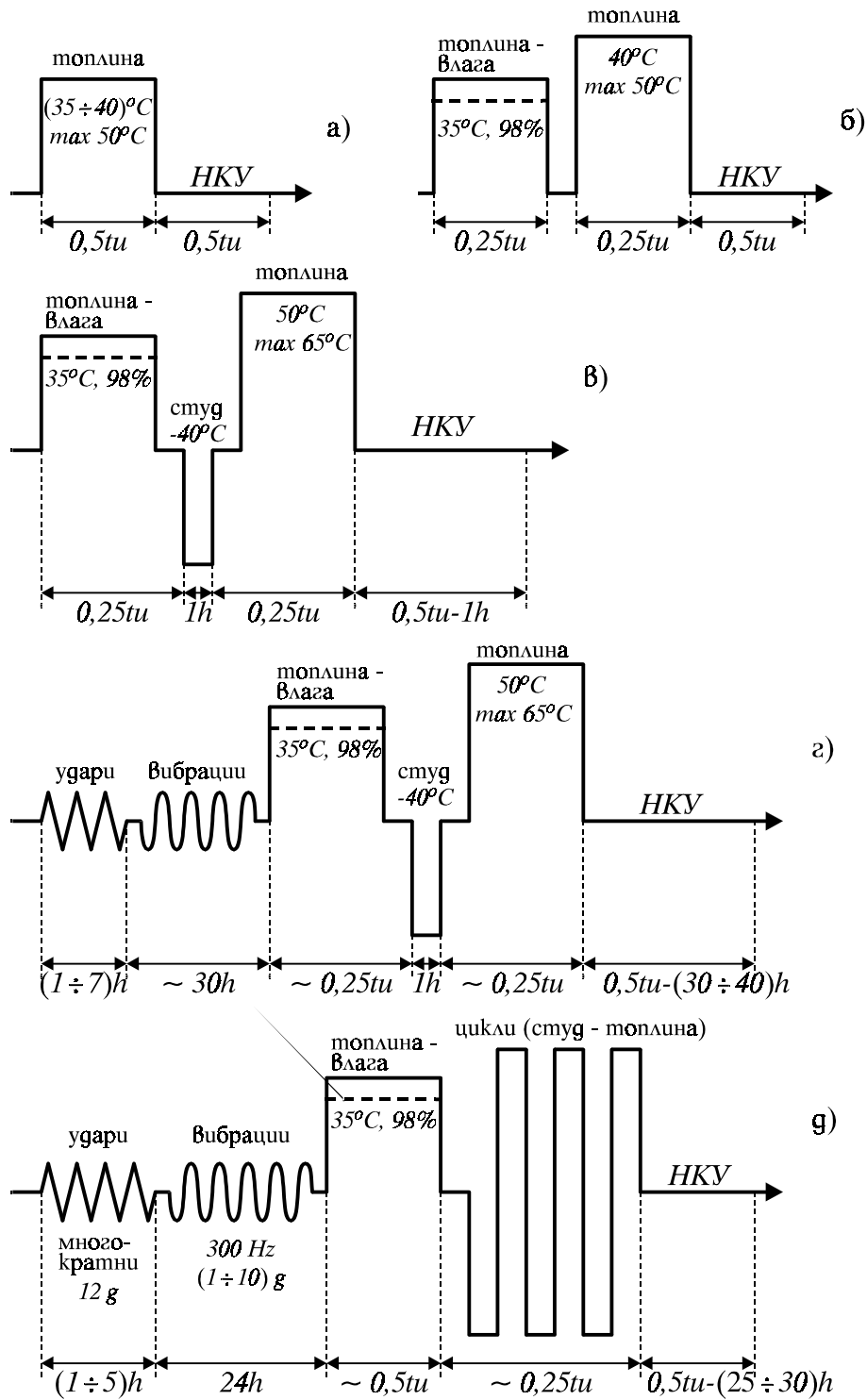
тните изпитвания трябва да са преминали специална или технологична подготовка. Отработените при това часове зависят от режима на натоварване (електрически, температурен) и от външните въздействия.

Друг важен момент при избор на образците е те да бъдат статистически еднородни. Това се проверява с помощта на статистическите методи за оценка на надеждността. Всички изпитвани образци предварително се проверяват за съответствие с изискванията на конструктурската документация.

Избор на условията и режимите на изпитване. Режимите и условията на изпитване в лаборатория трябва с възможно най-голяма точност да имитират тези в реалната експлоатация на МЕИ. Една от причините за несъответствие на оценките на надеждностните показатели при демонстриране на надеждността и т.н. експлоатационна надеждност е точно това несъответствие. За МЕИ, предназначени за летателни апарати тази разлика достига до 45 %.

В практиката е установена следната последователност за имитиране на външни въздействия, които дават възможност най-пълно да се прояви комплексния им характер: механични изпитвания, климатични изпитвания, тренировка. При избора на въздействия се има предвид назначението на изделието, т.е. климатичната зона [5] и схемата на неговото използване. На фиг. 4.11. а ÷ г са дадени препоръчителни по вид и продължителност въздействия при изпитване на надеждност в лабораторни условия на МЕИ, предназначени за приложение в ЕА съответно работеща:

- а) в закрити помещения (лаборатории);
- б) в места с повишена влажност;
- в) на земни и водни транспортни средства (неработеща по време на движение);



Фиг. 4.11. Препоръчителни по вид и продължителност въздействия при изпитване на надеждност в лабораторни условия за различни приложения на МЕИ.

г) на земни и водни транспортни средства (работеща по време на движение);

д) на летателни апарати.

Средствата за провеждане на изпитванията трябва да осигуряват

необходимата достоверност на измерванията и контролните операции и да бъдат метрологично изправни.

Обработка на резултатите и вземане на решение. При провеждане на изпитване задължително се води дневник, в който по определен ред се регистрират:

- условията за провеждане на изпитванията;
- отработените за деня и от началото на изпитването часове;
- моментите на появата на отказите (отработените от началото на изпитването часове);
- забележки.

Правилното отчитане и класифициране на отказите има голямо значение за достоверността и точността на получените резултати при ОИН и взетите решения при КИН.

При обработката на резултатите от изпитванията се отчитат всички откази, включително и онези, които са се появили по време на техническото обслужване.

4.6.2. Унифицирана структура на план за изпитване за надеждност

За промишлеността особено актуален е въпросът за създаване на унифицирани планове за изпитване на надеждност. Една такава примерна структура може да включва следните елементи:

1. Цел на изпитване.
2. Обект на изпитване:
 - техническа характеристика и назначение;
 - нормиране на показателите;
 - дефиниране на понятието отказ;
 - ред за формиране на статистически еднородна извадка.
3. План на изпитването:
 - избор на надеждностните показатели;
 - нормиране на очакваните стойности на показателите;
 - избор на достоверността и точността на оценките;
 - избор на параметри на плана.
4. Условия и режими за провеждане на изпитването:
 - характеристика на експлоатационните условия за работа на МЕИ;
 - избор на въздействията при изпитването на МЕИ;
 - контролирани параметри и режими на работа на изделието;
 - изисквания към хранването и техническото обслужване на изделието;

- ред за контрол на работоспособността на МЕИ;
- схема на опитната постановка и метрологични изисквания към средствата за измерване.

5. Обработка на резултатите:

- ред за отчитане и анализ на отказите;
- правила за обработка на резултатите.

6. Ред за вземане на решение:

- оценка на фактическата точност;
- ред за вземане на решение за завършване на изпитването;
- ред за внасяне на резултатите в проекта за стандартизационен документ на МЕИ.

7. Заключение:

- анализ на резултатите;
- изводи и препоръки.