

Тема 1.1

Лекция 16

Определение продолжительности
испытаний РЭА

Основной задачей, которую необходимо решать при составлении программы испытаний, является определение продолжительности испытаний и размера выборки. В зависимости от вида (категории) испытываемого изделия и от того, какие параметры надежности необходимо определить, различают испытания с восстановлением и без восстановления.

При испытаниях с восстановлением отказавшее изделие заменяется исправным и, таким образом, под нагрузкой находится неизменное число изделия. При испытаниях без восстановления отказавшие изделия не заменяются. В обоих случаях испытания могут проводиться до заранее установленного момента времени t_r (определяемого требованиями по надежности) или до момента t_n появления n -го отказа, если $t_n < t_r$ либо до заранее установленного момента времени t_r , если $t_n \geq t_r$

Таким образом, возможны три варианта проведения испытаний на надежность по продолжительности восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий:

а) испытания, проводимые до установленного момента времени t_r ;

б) испытания, проводимые до момента появления n -го отказа;

в) испытания, проводимые либо до момента времени t_n появления n -го отказа, если $t_n < t_r$ либо до установленного момента времени t_r , если $t_n \geq t_r$

Если на испытания ставятся N невосстанавливаемых изделий и за время испытаний отказывает n , то число изделий безотказно работающих до момента t будет $N(t) = N - n$. Суммарная наработка $S(t)$ в момент времени t определится как сумма времен, в течение которых безотказно работали испытываемые изделия:

$$S(t) = \sum_{i=1}^n t_i + N(t)t,$$

где t_i - моменты отказов элементов $i = 0, 1, 2, \dots, n$.

При этом возможно еще два варианта испытаний: в первом задают величину суммарной наработки S_0 и испытания проводятся до момента t^* , при котором $S(t^*)=S_0$, или до момента отказа последнего N -го изделия $t_N = t^*$ при $S(t^*) \leq S_0$; во втором задают S_0 и продолжают испытания до момента t^* , который определяется как момент, когда впервые наступает одно из следующих событий: либо $S(t^*)=S_0$ и $p < r$, либо $t^*=t_r$, но $S(t^*) < S_0$, где t_r момент появления r -отказа.

Рекомендуется выбирать время t_r из следующего ряда 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 5000, 10000. Продолжительность испытаний каждого экземпляра аппаратуры или ее элементов может выбираться в k раз больше средней наработки на отказ или допустимого времени непрерывной работы, установленного для определенной категории аппаратуры.

Выбор продолжительности испытаний существенно зависит от назначения аппаратуры (элементов). Рекомендуется выбирать время t_r из следующего ряда 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 5000, 10000. Продолжительность испытаний каждого экземпляра аппаратуры или ее элементов может выбираться в k раз больше средней наработки на отказ или допустимого времени непрерывной работы, установленного для определенной категории аппаратуры. Выбор продолжительности испытаний существенно зависит от назначения аппаратуры (элементов)..

Определение количества изделий, необходимых для проведения испытаний (размера выборки), производится методами однократной или двукратной выборок. Под выборкой (выборочной совокупностью) понимают совокупность чисел $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, взятых наугад из некоторого распределения случайной величины x , с плотностью вероятности $\phi(x)$. Совокупность чисел x называют генеральной совокупностью, а характеристику распределения $\phi(x)$ генеральной характеристикой.

При нормальном распределении

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где x_0 - генеральная средняя;
 σ^2 —генеральная дисперсия.

Выборочная совокупность (выборка) может также оцениваться следующими характеристиками:

выборочной средней

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

размахом выборки

$$\omega_n = x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}};$$

выборочным среднеквадратичным отклонением

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} .$$

Статистические испытания основываются на том, что о генеральной характеристике испытываемой партии изделий судят по выборочным характеристикам.

Очевидно, что при случайной выборке возможно возникновение различных ошибок в оценке партии изделий. Если в результате испытаний партия испытываемых изделий оценивается как негодная, то такую ошибку называют риском изготовителя (поставщика) α .

Если в результате испытаний негодная партия испытываемых изделий оценивается как годная, то такую ошибку называют риском заказчика (потребителя) β . Целесообразно, чтобы обе величины α и β были достаточно малыми (менее 0,05-0,1).

Для оценки степени годности изделий
устанавливают три категории качества:

1) хорошее изделие, когда некоторый
выборочный параметр $x_n \leq x_1$ -
определенной постоянной величины;

2) допустимое изделие, когда $x_2 > x_n > x_1$
где x_2 - определенная постоянная
величина;

3) брак $x_n \geq x_2$.

При применении метода однократной выборки от определенного количества выпущенных изделий производится одна случайная выборка определенного (n) объема по некоторому параметру x_n , отвечающему генеральному параметру всей партии изделий. **Партия изделий принимается при условии $x_n \leq C$ и бракуется при условии $x_n > C$, где C - оценочный норматив. Оценочный норматив может иметь два значения.**

Если оценочный норматив характеризует наименьшее число отказавших изделий в выборке, при котором результаты испытаний считаются отрицательными, то его называют браковочным числом C' . Если оценочный норматив характеризует наибольшее число отказавших изделий в выборке, при котором результаты испытаний считаются положительными, то его называют приемочным числом C .

Пользуясь введенными определениями, получаем, что вероятности риска изготовителя (α) и риска заказчика (β) могут быть записаны в виде следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P(x_n > C'' \quad \text{при} \quad x_0 = x_1; \\ \beta &= P(x_n \leq C \quad \text{при} \quad x_0 = x_1, \end{aligned} \right\}$$

x_1 и x_2 - некоторые постоянные уровни качества.

Для характеристики уровня качества изделий устанавливают два уровня надежности: минимальное (P_2) и приемлемое (P_1) значения вероятности безотказной работы. Минимальное значение вероятности безотказной работы изделия (P_2) характеризует вероятность приемки, равную риску заказчика β . Приемлемое значение вероятности безотказной работы изделия (P_1) характеризует вероятность забраковывания, равную риску изготовителя.

В обоих случаях предполагается, что указанные величины задаются на время (t_r), предусмотренное требованиями по надежности изделий, оговоренными в ТТ и ТУ. При испытаниях изделий серийного и массового производства уровни качества устанавливаются по соглашению между изготовителем и заказчиком или могут определяться опытным путем.

По результатам испытаний выборки изделий (n) из партии (N) определяют количество отказавших (d) и подсчитывают вероятность безотказной работы (P). При этом предполагают, что число отказавших изделий (n) мало по сравнению с объемом партии N ($n < 0,1N$).

По величине P партия изделий может быть отнесена к одной из категорий качества:

1) $P \leq P_1$ - хорошее изделие;

2) $P_1 < P < P_2$ - допустимое изделие;

3) $P > P_2$ - брак.

При планировании испытаний на надежность следует исходить из того, что ряд параметров должен быть задан в ТТ или ТУ.

Испытания могут планироваться по одному уровню надежности P_2 при риске заказчика β или по двум уровням надежности P_1 и P_2 при рисках изготовителя α и заказчика β .

Продолжительность испытаний более точно может быть определена в случае, когда известен закон распределения отказов.

Если закон распределения отказов по времени неизвестен, то продолжительность испытаний $t_{\text{и}}$ рекомендуется выбирать равной времени ($t_{\text{г}}$), на которое в ТТ и ТУ задаются требования по надежности изделий (P_1) и (P_2). При известном законе распределения отказов во времени испытания можно планировать как при $t_{\text{и}} = t_{\text{г}}$ так и при $t_{\text{и}} \neq t_{\text{г}}$

Метод однократной выборки характеризуется большим размером выборки и его целесообразно применять для испытаний опытных образцов, когда объем испытаний задается заранее и он сравнительно невелик.

Метод двукратной выборки

характеризуется тем, что делаются две выборки объемом n_1 и n_2 при заданных оценочных нормативах c' и c . Этот метод применяется при $P_2 > 0,9$. По характеристикам первой выборки принимается одно из трех решений: принять партию, забраковать партию или произвести еще одну выборку определенного объема.

Пользуясь результатом первой и второй выборок, принимается одно из двух решений - принять партию при $x_n \leq c_1$ или забраковать партию при $x_n > c_2$. Повторная выборка производится только в случае, когда $c'_1 < x_{n1} < c'_2$.

Определив объем повторной выборки n_2 и выборочный параметр x_{n_2} , составляют функцию $f(x_{n_1}, x_{n_2})$, значение которой сравнивается с оценочным параметром. Партия изделий принимается при выполнении условия $f(x_{n_1}, x_{n_2}) < c_3$.

Риск изготовителя и заказчика при двукратной выборке определяется следующим уравнением:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P[x_{n1} > c_2 \quad \text{или} \quad f(x_{n1}, x_{n2}) > c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = X_1], \\ \beta &= P[x_{n1} > c_1 \quad \text{или} \quad f(x_{n1}, x_{n2}) \leq c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = X_2] \end{aligned} \right\}$$

Примем, что уровни качества x_1 и x_2 определяются уровнями надежности \bar{P}_1 , P_2 , а оценочные нормативы c_1 , c_2 и c_3 устанавливаются приводимыми ниже соотношениями:

1) условие приемки по I выборке объема n_1

$$\frac{m_1}{n_1} \leq c_1,$$

где m_1 — число дефектных изделий в I выборке;

2) условие браковки по I выборке

$$\frac{m_1}{n_1} > c_2;$$

3) условие приемки после II выборки объема

$$\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq c_3,$$

где m_2 - число дефектных изделий во II выборке.

Тогда уравнения можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= P\left(\frac{m_1}{n_1} > c_2 \quad \text{или} \quad \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} > c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = P_1\right); \\ \beta &= P\left(\frac{m_1}{n_1} \leq c_2 \quad \text{или} \quad \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq c_3 \quad \text{при} \quad x_0 = P_2\right). \end{aligned} \right\}$$

Преобразовав эти уравнения для принятого закона распределения отказов во времени и произведя необходимые вычисления, можно выполнить расчеты, необходимые для планирования испытаний. Определение размера выборки и оценки результатов испытаний по одному уровню надежности методом двукратной выборки производится исходя из следующих данных: β , P_2 и t_r .

Также задаются оценочные параметры c_1 , c_2 и c_3 , но они записываются в удобной для расчетов форме. Для I выборки: браковочное число $C'_1 = c'_2 n_1$, приемочное число $C_1 = c_1 n_1$. Для II выборки: браковочное число $C'_2 = c'_2 n_2$, приемочное число $C_2 = c'_1 n_2$, где $c'_2 > m_2/n_2$, а $c_2 \leq m_2/n_2$.

Метод двукратной выборки целесообразно применять для испытаний серийных изделий, так как он позволяет получить экономию по числу контролируемых изделий. Следует иметь в виду, что выбор количества изделий, необходимых для проведения испытаний, зависит от предполагаемого метода оценки результатов испытаний.