

ЛЕКЦИЯ 6

**Вероятность возникновения
внезапного отказа.**

**Одновременное проявление
внезапных и постепенных
отказов**

Причина возникновения внезапных отказов не связана с изменением состояния изделия и временем его предыдущей работы, а зависит от уровня внешних воздействий.

При построении модели внезапного отказа надо охарактеризовать внешние условия, которые могут привести к отказу. Эти условия могут оцениваться **интенсивность отказов** λ – вероятностью возникновения отказа в единицу времени при условии, что до этого момента времени отказ не возник. λ является условной плотностью вероятности и измеряется в тех же единицах, что плотность вероятности $f(t)$, т. е. в 1/ч.

Рассмотрим определение λ - характеристики, используя теорему умножений для зависимых событий:

$$P(AB) = P(A) \times P(B/A),$$

где AB - сложное событие;

$P(AB)$ - вероятность данного события;

$P(B/A)$ - условная вероятность события B .

Рассмотрим некоторый период времени работы изделия $t = T$, после которого на участке Δt будем оценивать вероятность возникновения отказа. Обозначим через события A и B безотказную работу изделия на отрезках времени t и Δt . Вероятность возникновения каждого из этих событий будут соответственно $P(t)$ и $P(\Delta t)$.

Сложное событие – безотказная работа изделия за время $(t + \Delta t)$, будет произведением указанных событий $A * B$, так как для этого должно быть совместное выполнение двух событий: изделие должно работать безотказно и на отрезке t и на Δt .

Вероятность данного события будет $P(t + \Delta t)$.

- Вероятность события В при условии выполнения события А, т. е. $P(B/A)=P(\Delta t/t)$ означает условную вероятность безотказной работы изделия за период времени Δt .

По определению интенсивность отказов λ , будет равна: $\lambda=F(\Delta t/t)/\Delta t=[1- P(\Delta t/t)]/ \Delta t$

Зависимость между вероятностью безотказной работы изделия и λ - характеристикой:

$$P(t)=\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$$

Применение λ -характеристики удобно в том случае, если она не изменяется во времени и характеризует условия возможного возникновения отказа. Принимая $\lambda = \text{const}$ получим экспоненциальный закон надёжности:

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

Для современных деталей и узлов машин требуется высока вероятность безотказной работы – от $P(t) = 0.99$ до $P(t) = 0.99999$ и выше.

Оценка ситуации, приводящей к внезапным отказам

Поскольку причина возникновения внезапного отказа связана не с изменением состояния изделия, а с неблагоприятным сочетанием действующих факторов, то необходимо оценить обстановку, которая может привести к данной ситуации, и вероятность этого события.

Построение модели внезапного отказа связано с анализом условий эксплуатации машины, режимами её работы, возможностью возникновения экстремальных нагрузок и активного влияния окружающей среды.

- На рисунке 1 приведена типичная модель возникновения внезапного отказа:

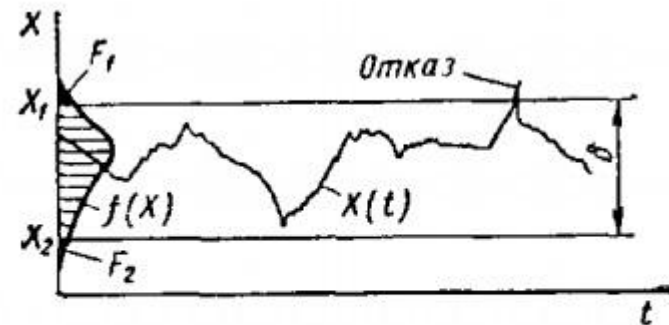


Рисунок 1 – Модель возникновения внезапного отказа

На рисунке показано, что если рассеивание режимов таково, что выходящий параметр X может выйти за допускаемые пределы X_1 и X_2 , то вероятность $F = F_1 + F_2$ этого выхода за поле допуска δ и будет определять вероятность отказа.

Несколько более сложная модель внезапного отказа будет иметь место в том случае, если предельное состояние изделия также меняется случайным образом (Рисунок 2).

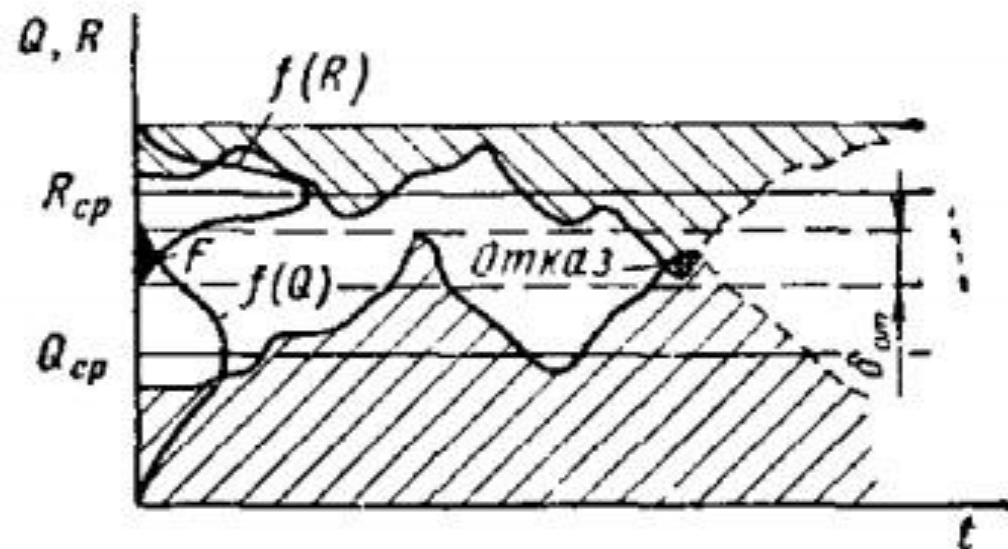


Рисунок 2 – Модель возникновения внезапного отказа

Такая схема, например, имеет место, если оценивать вероятность разрушения конструкции от статических пиковых нагрузок, учитывая вероятность сосуществования высоких нагрузок Q и низких значений несущей способности R .

Во многих случаях, когда объект подвержен постепенным (износным) отказам, одновременно существует опасность потери работоспособности также по причине внезапных отказов.

При этом возможны следующие схемы одновременного проявления постепенных и внезапных отказов.

СОВМЕСТНОЕ И НЕЗАВИСИМОЕ ДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ПОСТЕПЕННЫМ И ВНЕЗАПНЫМ ОТКАЗАМ

При этом случайное событие A - безотказность объекта в течение некоторого времени (наработки) t - представляет собой произведение (совмещение) двух случайных событий: события $AП$ - безотказность объекта по постепенным (износным) отказам - и события $АВ$ - безотказность объекта по внезапным отказам, т. е. $A = AП \times АВ$.

Так как события $AП$ и $АВ$ независимы, то для нахождения вероятности события A (вероятности безотказной работы объекта) можно применить теорему умножения вероятностей независимых случайных событий:

$$P(A) = P(AП) \times P(АВ) \text{ или } P(t) = PП(t) \times PВ(t),$$

где $PП(t)$ и $PВ(t)$ - вероятности безотказной работы объекта по постепенным и внезапным отказам, соответственно. Вероятности безотказной работы $PП(t)$ и $PВ(t)$ можно определить, если известны вид и параметры соответствующих законов распределения случайной величины - наработки объекта до отказа.

В случае, если для постепенных отказов принята модель, для которой вероятность безотказной работы рассчитывается по специальной формуле, а внезапные отказы моделируются экспоненциальным законом распределения, то вероятность возникновения отказа определяют по следующей формуле:

$$P(t) = \left[0,5 + \Phi \left(\frac{X_{\max} - \bar{a} - \bar{\gamma}_x t}{\sqrt{\sigma_a^2 + t^2 \sigma_y^2}} \right) \right] e^{-\lambda t}$$



Из рис. 4.13 следует, что в начальный период времени (наработки) основное влияние на вероятность безотказной работы объекта оказывают внезапные отказы, а затем все большее значение начинают приобретать постепенные отказы.

В некоторых случаях физика отказа настолько сложна, что содержит в себе элементы как постепенных (износных), так и внезапных отказов, т. е. наблюдается сложный отказ.

Например, весьма распространенный случай выхода из строя деталей машин по причине усталостных повреждений материала поверхностных слоев или тела детали (валы, подшипники качения, детали передач зацеплением и др.) связан с зарождением и последующим развитием усталостной трещины в зоне местной концентрации напряжений или начального повреждения материала детали, обусловленного производственным дефектом.

Период времени до зарождения микротрещины характеризуется признаками внезапного отказа (зарождение микротрещины является следствием случайного повышения эксплуатационной нагрузки, вызванного внешними неконтролируемыми причинами), а процесс развития усталостной трещины характеризуется признаками постепенного отказа.

Процессы зарождения микротрещины и усталостного разрушения действуют последовательно. Сначала должна проявиться причина (событие - внезапное зарождение микротрещины), затем - следствие (событие - постепенный рост усталостной трещины до критического размера, соответствующего отказу).

Событие (отказ объекта) , причем события и являются зависимыми.

По теореме умножения вероятностей зависимых случайных событий
вероятность отказа объекта:

$$P(\bar{A}) = P(\bar{A}_B) \cdot P(\bar{A}_\Pi | \bar{A}_B)$$

или

$$1 - P(A) = [1 - P(A_B)] [1 - P(A_\Pi | \bar{A}_B)]$$

где $P(A) = P(t)$ - вероятность безотказной работы объекта, отнесенная к рассматриваемому моменту времени (наработки) t ;

$P(A_B) = P_B(t)$ - вероятность незарождения микротрещины, отнесенная к рассматриваемому моменту t .

$P(A_\Pi | \bar{A}_B) = P_\Pi(t)$ - условная вероятность недостижения усталостной трещиной критического размера в момент t , определяемая при условии, что микротрещина возникла.

Для моделирования сложных отказов, в частности, отказов, возникающих вследствие усталостных повреждений, чаще всего используют двухпараметрический закон Вейбулла-Гнеденко (рис. 4.14).

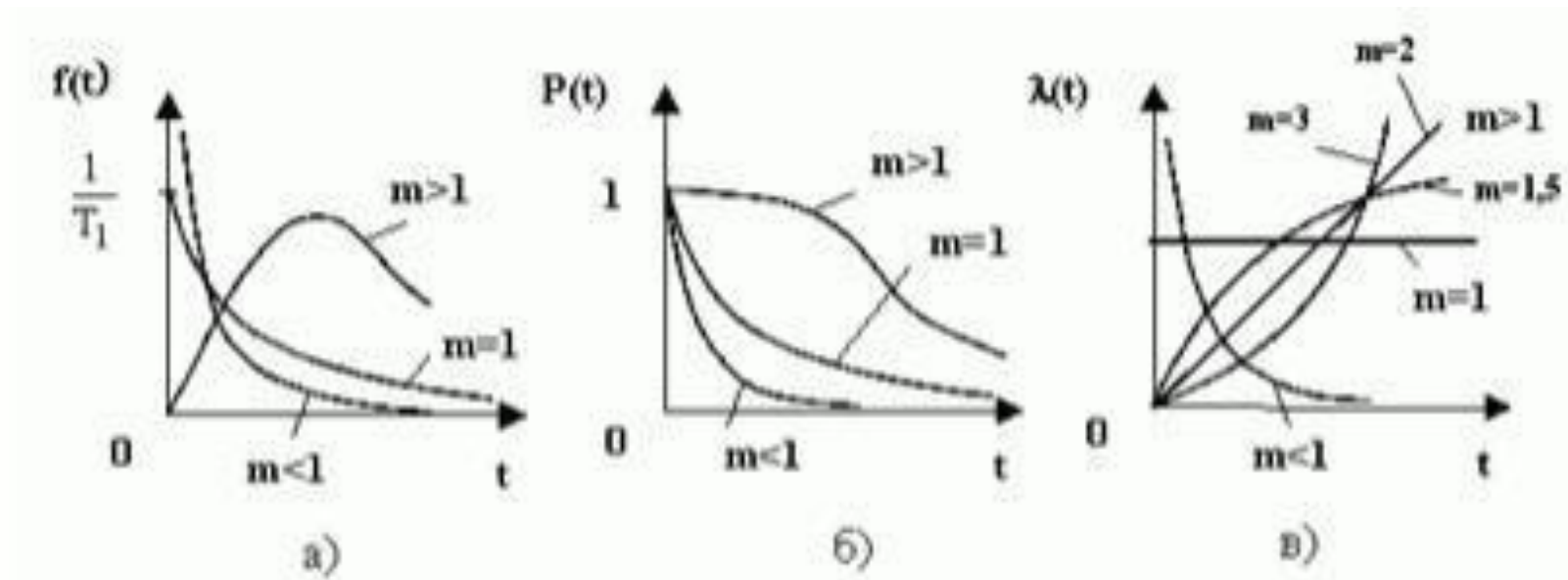


Рис. 4.14. Закон распределения Вейбулла-Гнеденко:
а – функция плотности распределения;
б – вероятность безотказной работы; в – интенсивность отказов

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!