

Дисциплина

«Эксплуатация и ремонт вооружения, военной и специальной техники»



Кафедра Космических войск
ВУЦ при МАИ





Тема 1

«Содержание технической эксплуатации и
войскового ремонта вооружения, военной и
специальной техники»

Групповое занятие 3

«Единичные показатели надежности
вооружения, военной и специальной техники»



Цели занятия:

1. Изучить показатели надёжности ВВСТ как числовые характеристики свойств надёжности.
2. Рассмотреть единичные показатели свойств, составляющие свойство надёжности.



Учебные вопросы:

1. Понятие о показателях надежности вооружения, военной и специальной техники.
2. Единичные показатели надежности вооружения, военной и специальной техники.



Литература:

1. **Коробовский, А. В.** Содержание технической эксплуатации систем и комплексов. – Москва : Издательство «Ким Л.А.», 2020. – 96 с. – Текст непосредственный.



Учебный вопрос 1

**Понятие о показателях надежности
вооружения, военной
и специальной техники**

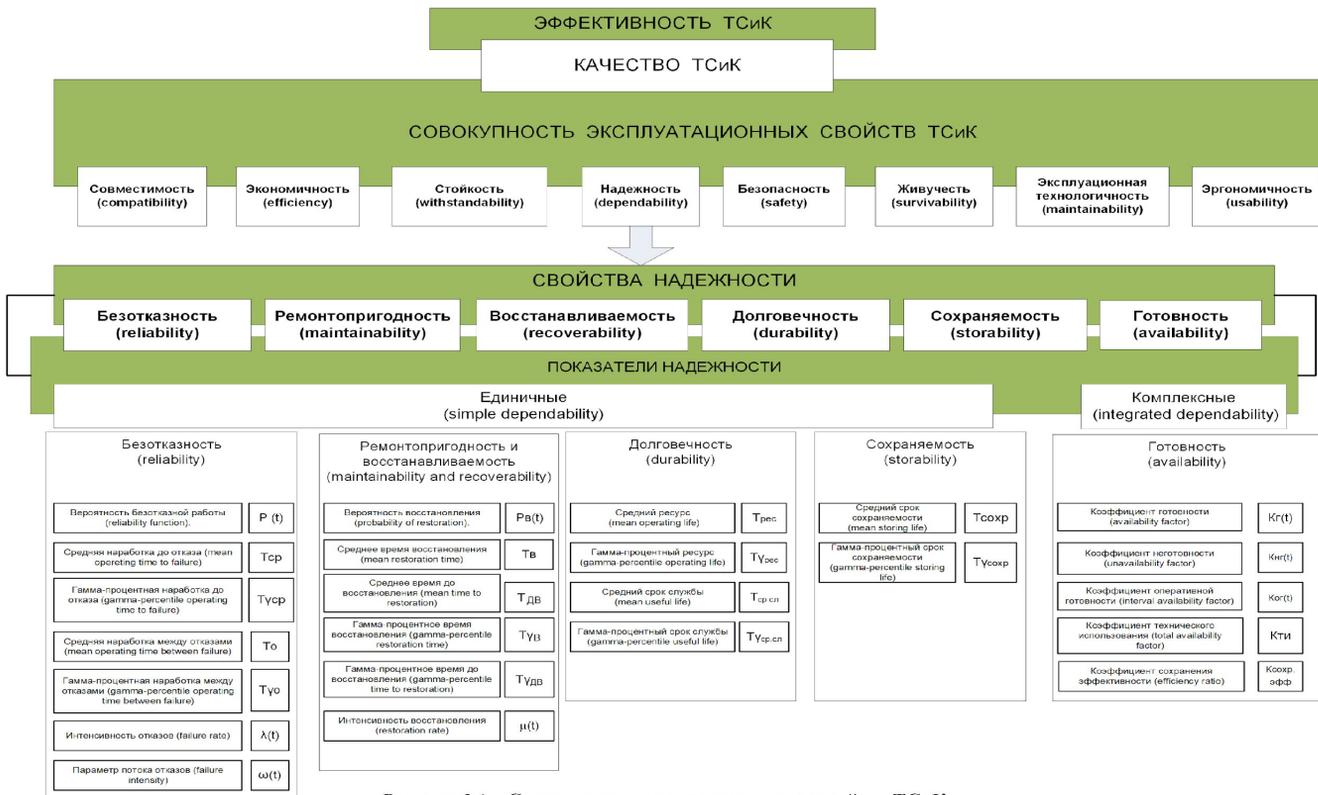


Рисунок 3.1 – Совокупность эксплуатационных свойств ТСиК



Количественно надёжность объектов оценивается с помощью **показателей надёжности**.

Показатель надёжности – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надёжность объекта.

Показатель может быть **единичным**, если он характеризует **одно из свойств, составляющих надёжность** объекта, или **комплексным**, если он совместно характеризует **два или более** свойств, составляющих надёжность объекта.



Показатели надёжности введены согласно правилам *статистической теории надёжности*, одной из важнейших задач которой является разработка методов их расчета. Область применения этой теории ограничена крупносерийными объектами, которые изготавливаются и эксплуатируются в статистически однородных условиях и к совокупности которых применимо статистическое истолкование вероятности (пример – массовые изделия машиностроения, электротехнической и радиоэлектронной промышленности и т.п.).



Применение статистической теории надёжности к уникальным и малосерийным объектам ограничено. Эта теория применима для единичных ремонтпригодных (восстанавливаемых) объектов, в которых в соответствии с нормативно – технической документацией допускаются многократные отказы, для описания последовательности которых применима модель потока случайных событий. Теория применима также к уникальным и малосерийным объектам, которые в свою очередь состоят из изделий массового производства. В этом случае расчёт показателей надёжности объекта в целом проводится методами статистической теории надёжности по известным показателям надёжности компонентов и элементов. Методы статистической теории надёжности позволяют установить также требования к надёжности компонентов на основании требований к надёжности объекта в целом.



Учебный вопрос 2

**Единичные показатели надежности
вооружения, военной
и специальной техники**



Единичные показатели безотказности

Безотказность (reliability) - Свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения (ГОСТ 27.002–2015).

Временные понятия, относящиеся к свойству **БЕЗОТКАЗНОСТЬ**:

1. Нарботка - продолжительность или объем работы объекта.

Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километрах пробега и т.п.), так и дискретной величиной (число рабочих циклов, запусков и т.п.)

2. Нарботка до отказа - наработка объекта от начала его эксплуатации или от момента его восстановления до отказа. *Частным случаем* наработки до отказа является *наработка до первого отказа* — наработка объекта от начала его эксплуатации до первого отказа.

3. Нарботка между отказами - наработка объекта между двумя следующими друг за другом отказами. Нарботка между отказами есть *частный случай наработки до отказа*, применимый только к *восстанавливаемым* объектам.



ЕДИНИЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ

Вероятность безотказной работы (reliability function) $P(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Средняя наработка до отказа (mean operating time to failure) T_{cp} - математическое ожидание наработки объекта до отказа.

Гамма-процентная наработка до отказа (gamma-percentile operating time to failure) $T_{\gamma cp}$ - наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средняя наработка между отказами (mean operating time between failures) T_o - математическое ожидание наработки объекта между отказами.

Гамма-процентная наработка между отказами (gamma-percentile operating time between failure) $T_{\gamma o}$ – наработка между отказами, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Интенсивность отказов (failure rate) $\lambda(t)$ - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Параметр потока отказов (failure intensity) $\omega(t)$ - предел отношения вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящейся к нулю.



ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет (ГОСТ 27.002–2015).

Пусть t – время жизни объекта (наработка до отказа) – непрерывная случайная величина. Случайная величина имеет закон распределения. Одной из характеристик закона распределения является **функция распределения**. Обозначим функцию распределения величины t через $Q(t)$, тогда $Q(t)$:

$$Q(t) = \text{Вер}(t \leq t_{\text{зад}})$$

и представляет собой *вероятность отказа* объекта.



ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА ОБЪЕКТА $Q(T)$ - ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО,
ЧТО ВРЕМЯ ЖИЗНИ ОБЪЕКТА T НЕ ПРЕВЫСИТ ЗАДАННОЙ
НАРАБОТКИ $T_{ЗАД}$.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА:

$$\hat{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}$$

ГДЕ $N(t)$ – ЧИСЛО ОБЪЕКТОВ, ОТКАЗАВШИХ НА
ОТРЕЗКЕ ОТ 0 ДО T ;



Плотность распределения наработки до отказа:

$$q(t) = \frac{dQ(t)}{dt}.$$

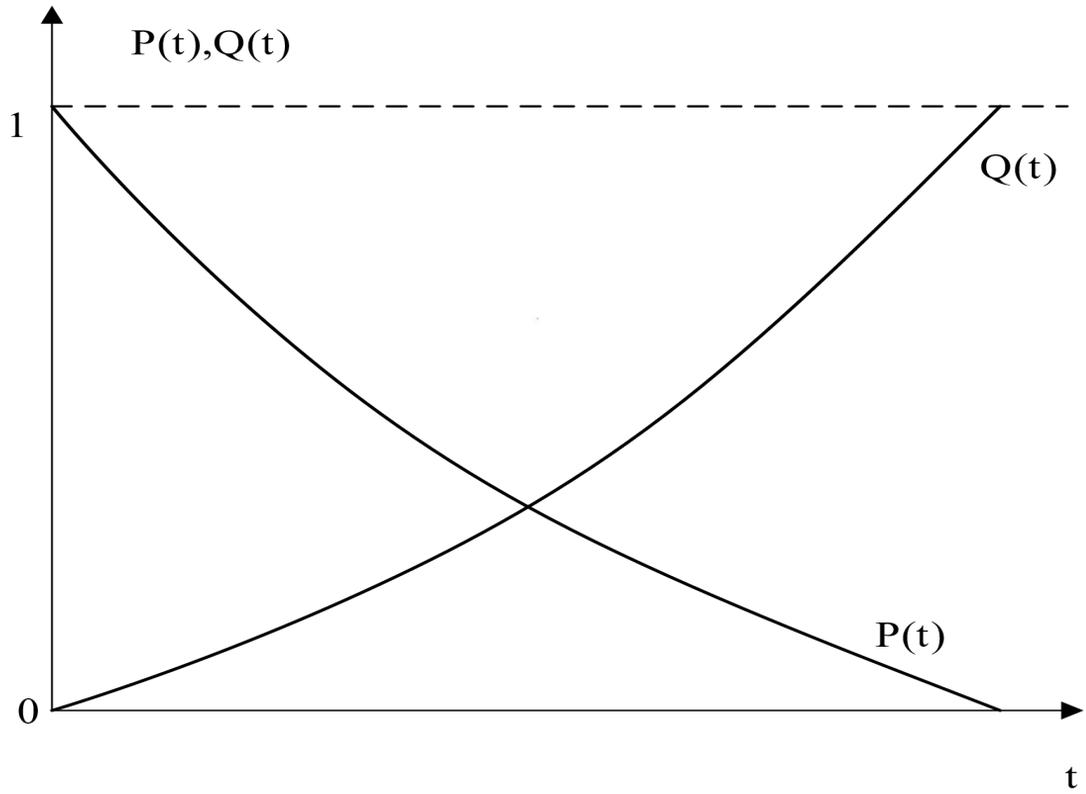
Статистическое значение плотности распределения:

$$\hat{q}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{n(t, t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}.$$

На практике широко используется *функция надёжности* объекта

$$P(t) = \text{Вер}(t > t_{\text{зад}}) = 1 - Q(t),$$

которая и представляет собой **вероятность безотказной работы объекта.**





Практически вероятность безотказной работы определяется **статистическим путем** по информации об отказах за интересующий промежуток времени по формуле:

$$\hat{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$$

где N_0 – число объектов, работоспособных к началу заданного промежутка времени ($t=0$);

$n(t)$ – число объектов, отказавших к концу заданного интервала времени.



СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА ДО ОТКАЗА

Средняя наработка до отказа T_{cp} - математическое ожидание наработки объекта до отказа (ГОСТ 27.002–2015).

По определению математического ожидания:

$$T_{cp} = M\{t\} = \int_0^{\infty} t \cdot q(t) dt$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dQ(t)}{dt} dt = - \int_0^{\infty} t \cdot dP(t)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt$$



Гамма – процентная наработка до отказа

Гамма – процентная наработка до отказа $T_{\gamma \text{ ср}}$ – наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах (ГОСТ 27.002–2015).

Показатель определяется как корень ***t*** уравнения

$$Q(t) = 1 - \gamma/100$$

где $Q(t)$ – *функция распределения наработки до отказа*.

Отсюда гамма – процентную наработку до отказа определяют из уравнения

$$P(t) = \gamma/100,$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы.



Этот гамма – процентный показатель равен **квантилю** соответствующего распределения. Если вероятности, отвечающие этим квантилям, выражаются в процентах, то для показателей безотказности обычно задают значения 90; 95; 99; 99,5% и т.д. Тогда вероятность возникновения отказа на отрезке $[0; t]$ будет составлять 0,10; 0,05; 0,01; 0,005 и т.д.

Задаваемые значения γ для **критических отказов** должны быть весьма близки к 100%, чтобы сделать критические отказы практически невозможными событиями. А, скажем, для прогнозирования потребности в запасных частях, ремонтных мощностях, для расчёта пополнения и обновления парков машин, приборов и установок могут потребоваться гамма – процентные показатели при более низких значениях γ , например при $\gamma = 50\%$, что приближённо соответствует средним значениям.



СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА МЕЖДУ ОТКАЗАМИ

Средняя наработка между отказами T_o - математическое ожидание наработки объекта между отказами (ГОСТ 27.002–2015).

Этот показатель введён применительно к **ремонтпригодным** объектам, при эксплуатации которых допускаются многократно повторяющиеся отказы. Очевидно, что это должны быть отказы, не приводящие к серьёзным последствиям и не требующие значительных затрат на восстановление работоспособного состояния. Эксплуатация таких объектов может быть описана следующим образом: в начальный момент времени объект начинает работать и продолжает работать до первого отказа; после отказа происходит восстановление работоспособности и объект вновь работает до отказа и т.д.



СВОЙСТВА СОБЫТИЙ

Последовательность событий, наступающих одно за другим в случайные моменты времени, называют ***потоком событий***.

Если события заключаются в наступлении отказов или восстановлений, то имеет место соответственно **ПОТОК ОТКАЗОВ** или **ПОТОК ВОССТАНОВЛЕНИЙ**, т.е. на оси времени моменты отказов образуют поток отказов, а моменты восстановлений – поток восстановлений.

На оси суммарной наработки (когда время восстановления не учитывается) моменты отказов также образуют **ПОТОК ОТКАЗОВ**.



Поток событий называют **ординарным**, если вероятность попадания на интервал времени $(t, t + \Delta t)$ двух (и более) событий пренебрежимо мала ($\rightarrow 0$) при стремлении интервала Δt к нулю ($\Delta t \rightarrow 0$).

Поток событий называют **потоком без последствия**, если вероятность попадания K событий на интервал $(t, t + \Delta t)$ не зависит от числа и моментов появления событий на других, не пересекающихся с данным, участках.

Ординарный без последствия поток называют **пуассоновским**. В нём число событий, попадающих на любой участок распределено по закону редких событий или по закону Пуассона:

$$P(x = m) = P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a},$$

где a – математическое ожидание числа событий, попадающих на $(t, t + \Delta t)$, которое называют параметром закона Пуассона:

$$a = \int_t^{t+\Delta t} \lambda(t) dt,$$

где $\lambda(t)$ - интенсивность потока.



Если вероятность попадания K событий на $(t, t + \Delta t)$ зависит от числа событий K и длины интервала Δt , но не зависит от положения начала интервала t , то такой поток называют **стационарным**.

Для стационарного потока интенсивность **постоянна**: $\lambda = \text{const}$.

Пуассоновский стационарный поток называют **простейшим**, то есть простейший поток обладает свойствами **ординарности**, **стационарности** и **отсутствия последствия**. Для простейшего потока число событий, попадающих на произвольный интервал длиной Δt , распределено по закону Пуассона с параметром: $a = \lambda \cdot \Delta t$.

Время τ между двумя соседними событиями в простейшем потоке - случайная величина, имеющая экспоненциальный закон распределения с плотностью:

$$f(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{при } \tau < 0 \\ \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau), & \text{при } \tau > 0 \end{cases}$$



Определению средней наработки между отказами может соответствовать следующая формула:

$$T_0 = \frac{t}{M\{n(t)\}},$$

где t – суммарная наработка,

$n(t)$ – число отказов, наступивших в течение этой наработки,

$M\{n(t)\}$ – математическое ожидание этого числа.

В общем случае средняя наработка между отказами оказывается **функцией t** . Для стационарных потоков отказов средняя наработка между отказами от t **не зависит**.



По **статистическим данным**, полученным в процессе эксплуатации, наработка между отказами определяется как отношение суммарной наработки всех наблюдаемых объектов к суммарному числу отказов этих объектов.

$$\hat{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^N t_{p_{ij}}}{\sum_{j=1}^n n_j},$$

где $t_{p_{ij}}$ – i -я наработка j -й системы;
 n_j – число отказов j -й системы;
 N – число однотипных систем.

Если оценивается наработка между отказами **одной системы**, то

$$\hat{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{p_i}}{n}$$



Если поток отказов **простейший**, т.е. время наработки между отказами имеет экспоненциальный закон распределения с плотностью вероятности

$$q(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t),$$

то в соответствии с определением математического ожидания в этом случае средняя наработка между отказами:

$$T_o = \int_0^{\infty} t \cdot q(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda \cdot \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda}$$



ГАММА – ПРОЦЕНТНАЯ НАРАБОТКА МЕЖДУ ОТКАЗАМИ

Гамма – процентная наработка между отказами $T_{\gamma 0}$ – наработка между отказами, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах (ГОСТ 27.002–2015).

Интерпретация этого показателя аналогична интерпретации показателя *гамма – процентная наработка до отказа*, но применительно к восстанавливаемым (ремонтпригодным) объектам.



ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

$$\lambda(t) = \frac{q(t)}{P(t)};$$

$$\lambda(t) = \frac{dQ(t)}{dt \cdot P(t)} = -\frac{dP(t)}{P(t)dt} \Rightarrow \frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t) dt$$

$$\int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = -\int_0^t \lambda(t) dt; \quad \ln P(t) \Big|_0^t = -\int_0^t \lambda(t) dt$$



$$\int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = -\int_0^t \lambda(t) dt; \quad \ln P(t) \Big|_0^t = -\int_0^t \lambda(t) dt$$

$$P(t=0) = 1, \quad \ln P(t=0) = 0, \quad \Rightarrow \ln P(t) = -\int_0^t \lambda(t) dt$$

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

Для простейшего потока отказов ($\lambda = \text{const}$):

$$P(t) = \exp(-\lambda t)$$

Для произвольного интервала (t_1, t_2):

$$P(t_1, t_2) = \exp\left(-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt\right)$$



I – период приработки;

II – период нормальной эксплуатации ($\lambda \approx \text{const}$);

III – период старения и износа (деградационный период).

Характерный вид функции интенсивности отказов $\lambda(t)$



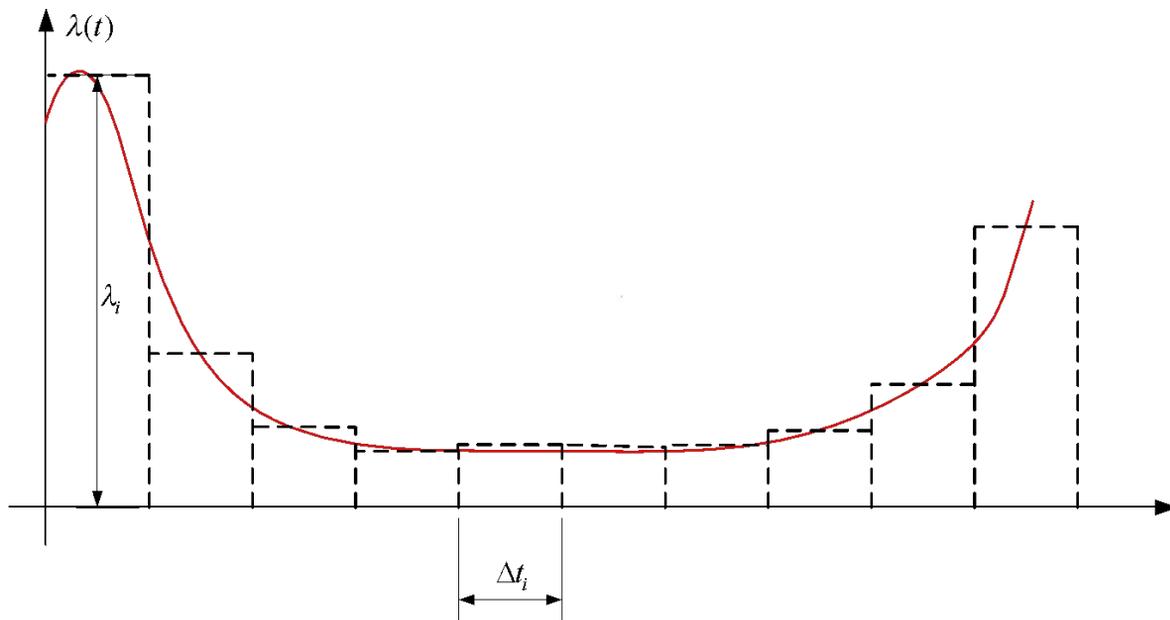
Интенсивность отказов показывает, какая доля от работоспособных в некоторый момент времени объектов отказывает в единицу времени после этого момента (для малых промежутков времени).

Формула **статистической оценки** параметра имеет вид:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}$$

где: n – число отказов в интервале Δt ,

$N(t)$, $N(t + \Delta t)$ – число объектов, работоспособных соответственно к моменту t и $t + \Delta t$.



Построение функции $\lambda(t)$ по статистическим данным



Иногда наряду с интенсивностью отказов определяют **частоту отказов:**

$$\hat{f}(t) = \frac{n}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t},$$

где N_0 - число объектов, работоспособных в начальный момент времени ($t=0$).



ПАРАМЕТР ПОТОКА ОТКАЗОВ

Параметр потока отказов $\omega(t)$ – предел отношения вероятности возникновения отказа **восстанавливаемого** объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящийся к нулю (ГОСТ 27.002 -2015).

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(\Delta t)}{\Delta t}$$

Эту формулу можно представить в виде:

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M\{n(t+\Delta t) - n(t)\}}{\Delta t},$$

где Δt – малый отрезок наработки,

$n(t)$ – число отказов, наступивших от начального момента времени до достижения наработки t .

Разность $n(t+\Delta t) - n(t)$ представляет собой число отказов на интервале Δt .



По экспериментальным данным параметр потока отказов $\hat{\omega}_i$ для произвольного интервала наработки Δt_i может быть рассчитан как отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки:

$$\hat{\omega}_i = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i},$$

где Δn_i - число отказов N восстанавливаемых объектов на интервале Δt_i .

Если $N = 1$, то $\hat{\omega}_i$ характеризует число отказов объекта в единицу

времени:

$$\hat{\omega}_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}$$



Экспериментально установлено, что **график зависимости параметра потока отказов $\omega(t)$ от наработки t имеет вид, аналогичный графику интенсивности отказов $\lambda(t)$ для невосстанавливаемых объектов (см. выше).**

Несмотря на некоторую похожесть **параметра потока отказов ω и интенсивности отказов λ** , они как по определению, так и по существу **различные**, а именно:

- интенсивность отказов - ***условная плотность вероятности*** возникновения отказа, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не наступил;

- параметр потока отказов - ***безусловная вероятность*** возникновения отказа за единицу времени.

Только для **периода нормальной эксплуатации** численные значения параметра отказов и интенсивности отказов равны, т.е. **$\omega = \lambda$** .



ЕДИНИЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ И ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ

Ремонтопригодность (maintainability) – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта (ГОСТ 27.002–2015).

Восстанавливаемость (recoverability) - свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта (ГОСТ 27.002–2015).



ВРЕМЕННЫЕ ПОНЯТИЯ, относящиеся к свойствам РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ и ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТЬ:

- 1. Время восстановления** – время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по восстановлению объекта.
- 2. Время до восстановления** – время от момента отказа до восстановления работоспособного состояния объекта. Если момент отказа определить невозможно, время отсчитывается от момента обнаружения отказа.
- 3. Время (продолжительность) ремонта** – время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по ремонту объекта. Время ремонта исключает технические и организационные задержки, а также задержки из-за обеспечения материальными ресурсами.



ВЕРОЯТНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ

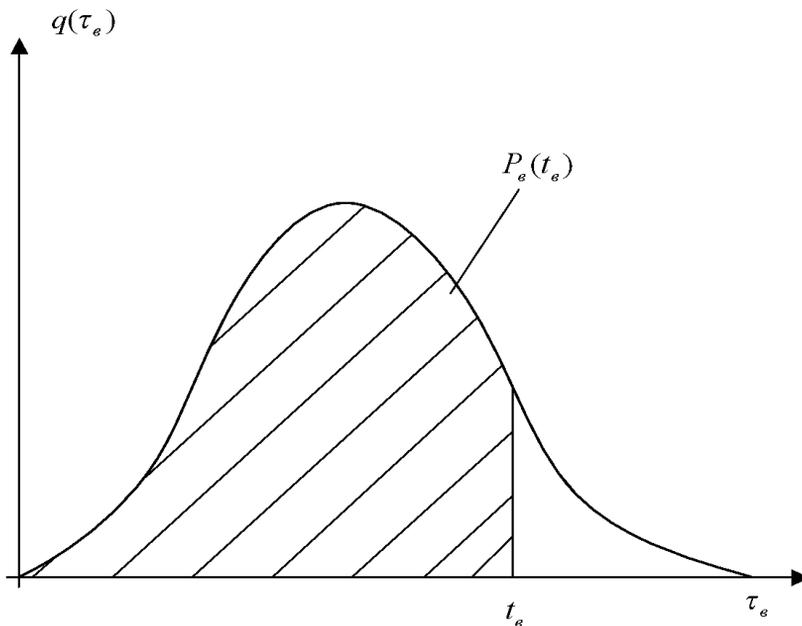
Вероятность восстановления $P_B(t_в)$ - вероятность того, что время (до) восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение:

$$P_B(t_B) = \text{Вер} (t_B \leq t_{зад}).$$

Примечание. При использовании этого показателя следует уточнять, относится ли он ко времени восстановления или времени до восстановления.

Вероятность восстановления $P_B(t_B)$ за заданное время, если известна плотность вероятности времени восстановления:

$$\text{Вер}(t_B \leq t_{зад}) = P_B(t_B) = \int_0^{t_{зад}} q(t_B) dt_B$$



Вероятность восстановления объекта за заданное время



СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ и СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ДО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ

Среднее время восстановления T_B - математическое ожидание времени восстановления.

$$T_B = \int_0^{\infty} t_B \cdot q(t_B) dt_B,$$

где t_B – случайная величина времени восстановления,

$q(t_B)$ - плотность распределения времени восстановления.

По статистическим данным оценку \hat{T}_B можно определить:

$$\hat{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n},$$

где t_{Bi} – время восстановления i -го отказа;

n – количество отказов за рассматриваемый срок эксплуатации.

Среднее время до восстановления $T_{ДВ}$ - математическое ожидание времени до восстановления.

Математическое выражение для $T_{ДВ}$ и его оценка по статистическим данным определяется аналогично вышеприведённому показателю.



ГАММА – ПРОЦЕНТНОЕ ВРЕМЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ и ГАММА – ПРОЦЕНТНОЕ ВРЕМЯ ДО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ

Гамма – процентное время восстановления $T_{\gamma B}$ – время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Гамма – процентное время до восстановления $T_{\gamma ДВ}$ – длительность времени до восстановления, которая не будет превышена с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Показатели определяются аналогично гамма – процентным показателям, приведённым в предыдущих разделах.



ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ

Интенсивность восстановления $\mu(t)$ - условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определённая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Если время восстановления имеет экспоненциальное распределение с плотностью вероятности:

$$q(t_B) = \mu \cdot \exp(-\mu \cdot t_B),$$

то
$$P_B(t_B) = \int_0^{t_B} \mu \cdot \exp(-\mu \cdot t_B) dt_B = 1 - \exp(-\mu \cdot t_B).$$

Тогда

$$T_B = \int_0^{\infty} t_B \cdot q(t_B) dt_B = \int_0^{\infty} t_B \cdot \mu \cdot \exp(-\mu \cdot t_B) dt_B = \frac{1}{\mu}.$$



ЕДИНИЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Долговечность (durability) – Свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния (ГОСТ 27.002–2015).

Временные понятия, относящиеся к свойству ДОЛГОВЕЧНОСТЬ:

- 1. Ресурс** – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния.
- 2. Остаточный ресурс** – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния.
- 3. Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или её возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния.



В терминах показателей долговечности следует **указывать начало отсчёта и вид действия** после наступления **предельного состояния** объекта (например, гамма-процентный ресурс от второго среднего ремонта до первого капитального ремонта).

Если предельное состояние обуславливает **окончательное снятие объекта с эксплуатации**, то показатели долговечности могут называться: *средний полный ресурс* (срок службы), *гамма-процентный полный ресурс* (срок службы).

В полный срок службы входят продолжительности всех видов ремонта объекта.



СРЕДНИЙ РЕСУРС и СРЕДНИЙ СРОК СЛУЖБЫ

Средний ресурс $T_{рес}$ - математическое ожидание ресурса.

Средний срок службы $T_{ср.сл.}$ - математическое ожидание срока службы.

По определению математического ожидания:

$$T_{рес} = M[t_{рес}] = \int_0^{\infty} t_{рес} \cdot q(t_{рес}) dt_{рес};$$
$$T_{ср.сл.} = M[t_{ср.сл.}] = \int_0^{\infty} t_{ср.сл.} \cdot q(t_{ср.сл.}) dt_{ср.сл.}$$

где $t_{рес}$ – случайная величина наработки объекта (или $t_{ср.сл.}$ – срока службы),
 $q(t_{рес})$ – плотность распределения наработки (или $t_{ср.сл.}$ – срока службы).

Статистическая оценка среднего ресурса (или срока службы) определяется по

формуле:
$$T_{рес}^{\wedge} = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_{рес_i}}{N},$$
 где $\tau_{рес_i}$ – ресурс (срок службы) i -го объекта.



ГАММА – ПРОЦЕНТНЫЙ РЕСУРС и ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ

Гамма – процентный ресурс $T_{\gamma \text{рес}}$ – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Гамма – процентный срок службы $T_{\gamma \text{ ср.сл.}}$ – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Перечисленные показатели могут определяться аналогично **гамма – процентным показателям**, приведённым выше.



В ГОСТ 27.002–2015 приведены также такие показатели как *назначенный ресурс* и *назначенный срок службы*.

Назначенный ресурс – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта может быть продолжена только после принятия решения о возможности продления данного показателя.

Назначенный срок службы – календарная продолжительность, при достижении которой эксплуатация объекта может быть продолжена только после принятия решения о возможности продления данного показателя.

Данные показатели не являются показателями надёжности.



ЕДИНИЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОХРАНЯЕМОСТИ

Сохраняемость (storability) – свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и/или транспортирования объекта, в течение которой он сохраняет работоспособное состояние.

К единичным показателям сохраняемости относят *средний срок сохраняемости* и *гамма – процентный срок сохраняемости*.



Средний срок сохраняемости $T_{\text{сохр}}$ – математическое ожидание срока сохраняемости.

$$T_{\text{сохр}} = M\{t_{\text{сохр}}\} = \int_0^{\infty} t_{\text{сохр}} \cdot q(t_{\text{сохр}}) dt_{\text{сохр}},$$

где $t_{\text{сохр}}$ – случайная величина срока сохраняемости объекта,

$q(t_{\text{сохр}})$ – плотность распределения срока сохраняемости.

Статистическая оценка среднего срока сохраняемости, если имеются данные о сроке сохраняемости рассматриваемой группы N однотипных объектов:

$$T_{\text{сохр}}^{\wedge} = \sum_{i=1}^N \frac{t_{\text{сохр}i}}{N};$$

где $t_{\text{сохр}i}$ – срок сохраняемости i -го объекта.



Гамма - процентный срок сохраняемости $T_{\gamma_{сохр}}$ – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

Показатель определяется **аналогично** гамма – процентным показателям, приведённым в предыдущих разделах.

В ГОСТ 27.002–2015 приведен также такой показатель как **назначенный срок хранения** – календарная продолжительность, при достижении которой хранение объекта может быть продолжено только после решения о возможности продления данного показателя.

Данный показатель не является показателем надёжности.



Учебные вопросы:

1. Понятие о показателях надежности вооружения, военной и специальной техники.
2. Единичные показатели надежности вооружения, военной и специальной техники.



Тема 1

«Содержание технической эксплуатации и
войскового ремонта вооружения, военной и
специальной техники»

Групповое занятие 3

«Единичные показатели надежности
вооружения, военной и специальной техники»



Цели занятия:

1. Изучить показатели надёжности ВВСТ как числовые характеристики свойств надёжности.
2. Рассмотреть единичные показатели свойств, составляющие свойство надёжности.



Задание на самостоятельную работу:

1. Повторить по конспекту основные понятия, термины и определения.

2. Литература на самостоятельную работу:

- Коробовский, А. В. Содержание технической эксплуатации систем и комплексов. – Москва : Издательство «Ким Л.А.», 2020. – с. **31-48**.