

# **«Надежность электроснабжения»**

- **лекции**
- **Практические занятия**
- **Расчетно-графическая работа**
- **ЭКЗАМЕН**

# **Основные задачи курса «Надежность электроснабжения»**

- основные понятия теории надежности применительно к системам электроснабжения**
- изучение факторов, влияющих на надежность электроснабжения**
- основные показатели и методы расчета надежности**
- ущерб от перерыва в электроснабжении**

## НАДЕЖНОСТЬ В ПУЭ:

Электроприемники **первой** категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

## НАДЕЖНОСТЬ В ПУЭ:

Из состава электроприемников первой категории выделяется **особая группа** электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники **второй** категории - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники **третьей** категории - все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Электроприемники **первой** категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от **двух независимых взаимно резервирующих** источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на **время автоматического восстановления питания**.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от **третьего независимого** взаимно резервирующего источника питания.

Электроприемники **второй** категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на **время**, необходимое для **включения резервного питания** действиями дежурного **персонала** или выездной оперативной бригады.

Для ЭП **третьей** категории электроснабжение может выполняться от **одного** источника питания при условии, что **перерывы** электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, **не превышают 1 суток**.

***ГОСТ 27\_002 – 89: НАДЕЖНОСТЬ В  
ТЕХНИКЕ  
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ТЕРМИНЫ  
И  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ***

***ГОСТ 27.002- 2015 :  
НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ. ТЕРМИНЫ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ***



**Надежность** это - свойство  
объекта сохранять во времени  
способность выполнять требуемые  
функции в заданных режимах и  
условиях применения,  
технического обслуживания,  
хранения и транспортирования

***элемент:*** объект, для которого в рамках данного рассмотрения не выделяются составные части

***система:*** объект, представляющий собой множество взаимосвязанных элементов, рассматриваемых в определенном контексте как единое целое и отделенных от окружающей среды

# *Состояния объекта*

- исправное состояние*
- неисправное состояние*
- работоспособное состояние*
- предельное состояние*
- опасное состояние*
- предотказное состояние*
- неработоспособное состояние*

**Исправное состояние** – при котором объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

**Неисправное состояние** – при котором объект не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической и/или конструкторской документации

**Работоспособное состояние** - значение всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции соответствует требованиям нормативно-технической и конструкторской документации

**Предельное состояние** – состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно

**Неработоспособное состояние** – значение хотя бы одного из параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и конструкторской документации

**Опасное состояние** - состояние объекта, в котором возникает недопустимый риск причинения вреда людям, или окружающей среде, или существенных материальных потерь, или других неприемлемых последствий

**Предотказное состояние** - состояние объекта, характеризующееся повышенным риском его отказа

# *Возможные события*

**Повреждение** – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния

**Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта

**Дефект** – каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией

**Сбой** - Самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора

# *Классификация отказов*

Отказы классифицируются по характеру, причинам, последствиям отказа, функции, способности выполнения которой потеряна, или изменения состояния объекта

**Причины** отказа - явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа объекта.

**По характеру проявление:**

**независимый отказ:** отказ, не обусловленный другими отказами

**зависимый отказ:** отказ, обусловленный другими отказами

**Причины отказа – в пределах объекта (внутренние причины),  
вне объекта – (внешние причины).**

**Классификация отказов по критичности:** критический, некритический (например, по уровню прямых и косвенных потерь, связанных с наступлением отказа, или по трудоемкости восстановления после отказа) устанавливается документацией на основании технического и экономического анализа.



**ресурсный отказ:** отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния

**внезапный отказ:** отказ, характеризующийся скачкообразным переходом объекта в неработоспособное состояние

**постепенный отказ:** отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта

**систематический отказ:** отказ, однозначно вызванный определенной причиной, которая может быть устранена только модификацией проекта или производственного процесса, правил эксплуатации и документации

**перемежающийся отказ:** многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера

**конструктивный отказ:** отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования

**производственный отказ:** отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии

**эксплуатационный отказ:** Отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации

**деградационный отказ:** Отказ, обусловленный естественными процессами старения, износа, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации

# *Факторы, снижающие надежность*

1. Факторы окружающей среды
2. Эксплуатационные факторы
3. Ошибки
4. Случайные факторы

# *Средства повышения надежности*

- резервирование (структурное, временное, функциональное, информационное)
- техническое обслуживание и ремонт
- целенаправленное управление процессами

**Резервирование:** способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и/или возможностей сверх минимально необходимых для выполнения требуемых функций (способ повышения надежности введением избыточности).

**Кратность резерва:** Отношение числа резервных элементов к числу основных элементов, выраженное несокращенной дробью

$$K = (N - M) / M ,$$

где  $N$  – число всех элементов;  $M$  – число элементов, необходимых для работы

## Виды резервирования:

**нагруженный резерв:** резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в режиме основного элемента

**ненагруженный резерв:** резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента

**Постоянное резервирование:** резервирование, при котором используется нагруженный резерв, и при отказе любого элемента в резервированной группе выполнение объектом требуемых функций обеспечивается оставшимися элементами без переключений

**Резервирование замещением:** резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только при отказе основного элемента

**Общее резервирование:** резервирование, при котором резервируется объект в целом

**Раздельное резервирование:** резервирование, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы



# **Техническое обслуживание, восстановление и ремонт**

**Система технического обслуживания и ремонта:** совокупность взаимосвязанных средств, документации, технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления работоспособного состояния объекта

**Ремонт:** комплекс технических операций и организационных действий по восстановлению исправного или работоспособного состояния объекта и восстановлению ресурса объекта или его составных частей

**Техническое обслуживание (ТО):** комплекс организационных мероприятий и технических операций, направленных на поддержание работоспособности (исправности) объекта и снижение вероятности его отказов при использовании по назначению, хранении и транспортировании

**Мониторинг технического состояния:** составная часть технического обслуживания, заключающаяся в наблюдении за объектом с целью получения информации о его техническом состоянии и рабочих параметрах.

## **Основные виды ТО:**

- **плановое ТО** (другие отраслевые названия: профилактическое, регламентированное) - техническое обслуживание, постановка на которое осуществляется в соответствии с требованиями документации;

- **внеплановое ТО** (другие отраслевые названия: корректирующее, нерегламентированное) - техническое обслуживание, постановка на которое осуществляется без предварительного назначения по техническому состоянию.

*Обслуживаемый объект:* объект, для которого техническое обслуживание предусмотрено документацией

*Необслуживаемый объект:* объект, для которого техническое обслуживание не предусмотрено документацией

**Ремонт** включает *локализацию, диагностирование, устранение неисправности и контроль функционирования.*

Ремонты подразделяются на плановые и внеплановые:  
- *плановый ремонт* : ремонт, выполняемый по плану в соответствии с требованиями документации.

Плановые ремонты по объему выполняемых работ, трудоемкости и периодичности проведения подразделяются на текущие, средние и капитальные.

- *внеплановый ремонт* : ремонт, не предусмотренный планом.

Неплановые ремонты могут быть обусловлены отказом объекта, появлениями повреждений (неисправностей), нарушением правил технической эксплуатации.

Неплановые ремонты подразделяются на аварийно-восстановительные и ремонты по состоянию.

В результате проведения ремонта происходит *восстановление*: процесс и событие, заключающиеся в переходе объекта из неработоспособного состояния в работоспособное

# МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ:

составная часть технического обслуживания, заключающаяся в наблюдении за объектом с целью получения информации о его техническом состоянии и рабочих параметрах

1. Мониторинг может проводиться в процессе работы объекта непрерывно или через запланированные интервалы времени.

2 На основе данных мониторинга осуществляется контроль технического состояния и остаточного ресурса объекта.

## *Средства повышения надежности для СЭС*

- секционирование сетей с 0.4 до 110 кВ (установка АВР);
- глубокий ввод, приближение ИП к потребителю;
- отказ от «холодного» резерва;
- использование передвижных ПС и ЭС

## Временные понятия

**НАРАБОТКА:** продолжительность или объем работы объекта. Наработка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и дискретной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

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



**РЕСУРС:** суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния

Остаточный ресурс: суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния

**СРОК СЛУЖБЫ:** календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния

**СРОК СОХРАНЯЕМОСТИ:** календарная продолжительность хранения и/или транспортирования объекта, в течение которой он сохраняет работоспособное состояние

# *СВОЙСТВА НАДЕЖНОСТИ*

**-безотказность:** свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения

**-ремонтпригодность:** свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта

**-восстанавливаемость:** свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта (для восстановления могут требоваться или не требоваться внешние воздействия, для случая, когда внешние воздействия не требуются, может использоваться термин самовосстанавливаемость).

- **ДОЛГОВЕЧНОСТЬ:** свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния
- **сохраняемость:** свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования
- **ГОТОВНОСТЬ:** свойство объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены (готовность зависит от свойств безотказности, ремонтпригодности и восстанавливаемости объекта).

# *Свойства надежности*

## *ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ*

- безопасность
- живучесть
- управляемость

# *Показатели надежности*

**Показатель надежности:** Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта

**- единичный показатель**

**надежности:** показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта

**- комплексный показатель**

**надежности:** показатель надежности, совместно характеризующий несколько единичных свойств, составляющих надежность объекта

# *1. Показатели безотказности*

1.1. Вероятность безотказной работы (или вероятность отказа  $Q(t)$ ) - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет

$$P(t) = P(t_0 \geq t)$$

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n(t)}{N};$$

1.2 Интенсивность отказов - Условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{\frac{dP(t)}{dt}}{P(t)},$$

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

Статистическая оценка интенсивности отказов определяется как отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, продолжающих исправно работать в соответствующем интервале времени:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{\bar{n}(\Delta t)\Delta t},$$

где  $\Delta t$  – интервал времени, для которого определяется интенсивность отказов;  $n(t + \Delta t)$  - число элементов, исправно работающих в момент времени  $t$ ;  $n(t)$  - среднее число элементов, исправно работающих в интервале времени  $[t, t + \Delta t]$

$$\bar{n}(\Delta t) = \frac{n(t + \Delta t) + n(t)}{2}.$$



### 1.3 Нарботка до отказа - математическое ожидание наработки объекта до отказа

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

$$\hat{T}_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tau_j$$

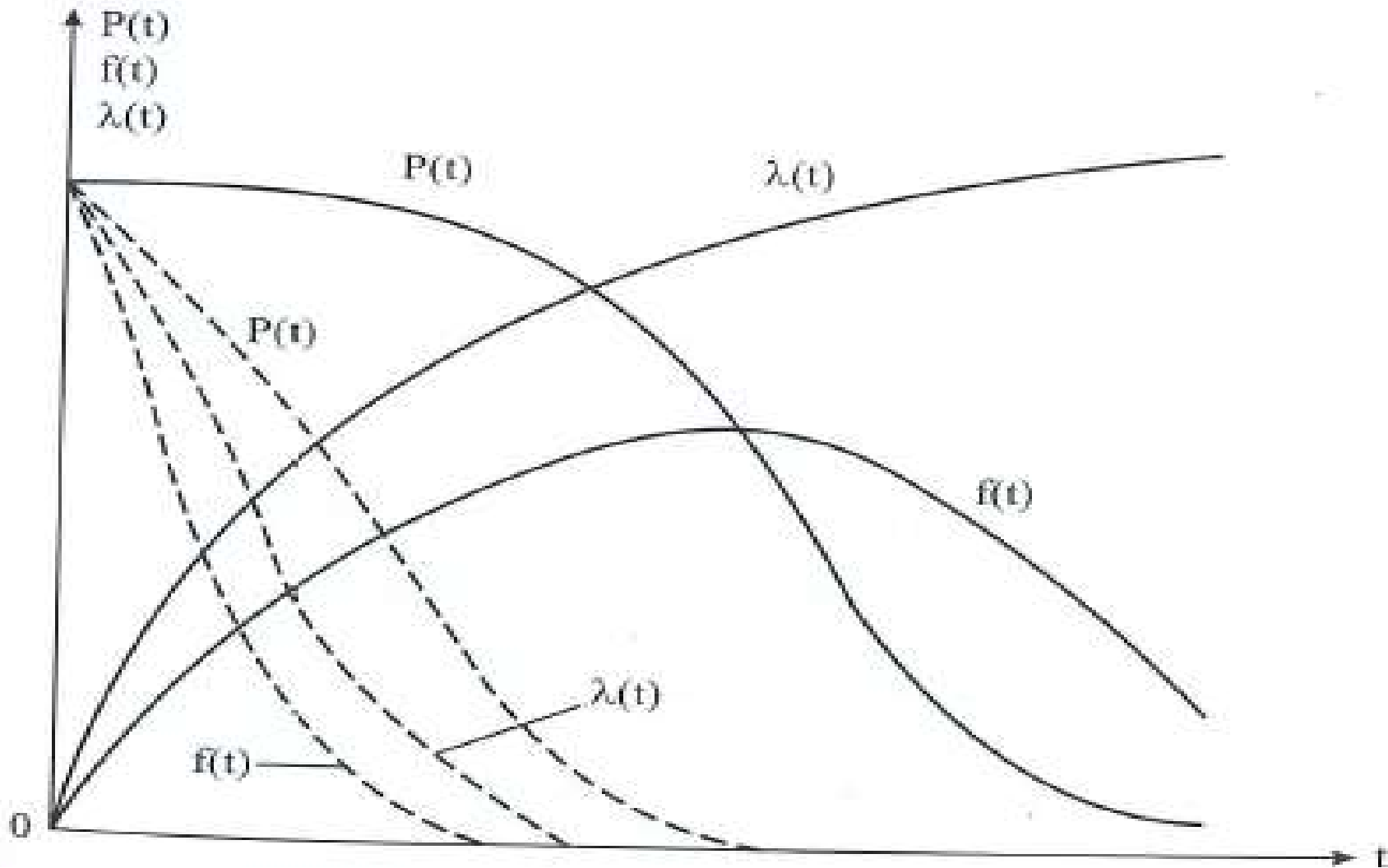
# *Распределение Вейбулла-Гнеденко*

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^b); \quad t \geq 0, \quad \lambda_0 > 0, \quad b > 0,$$

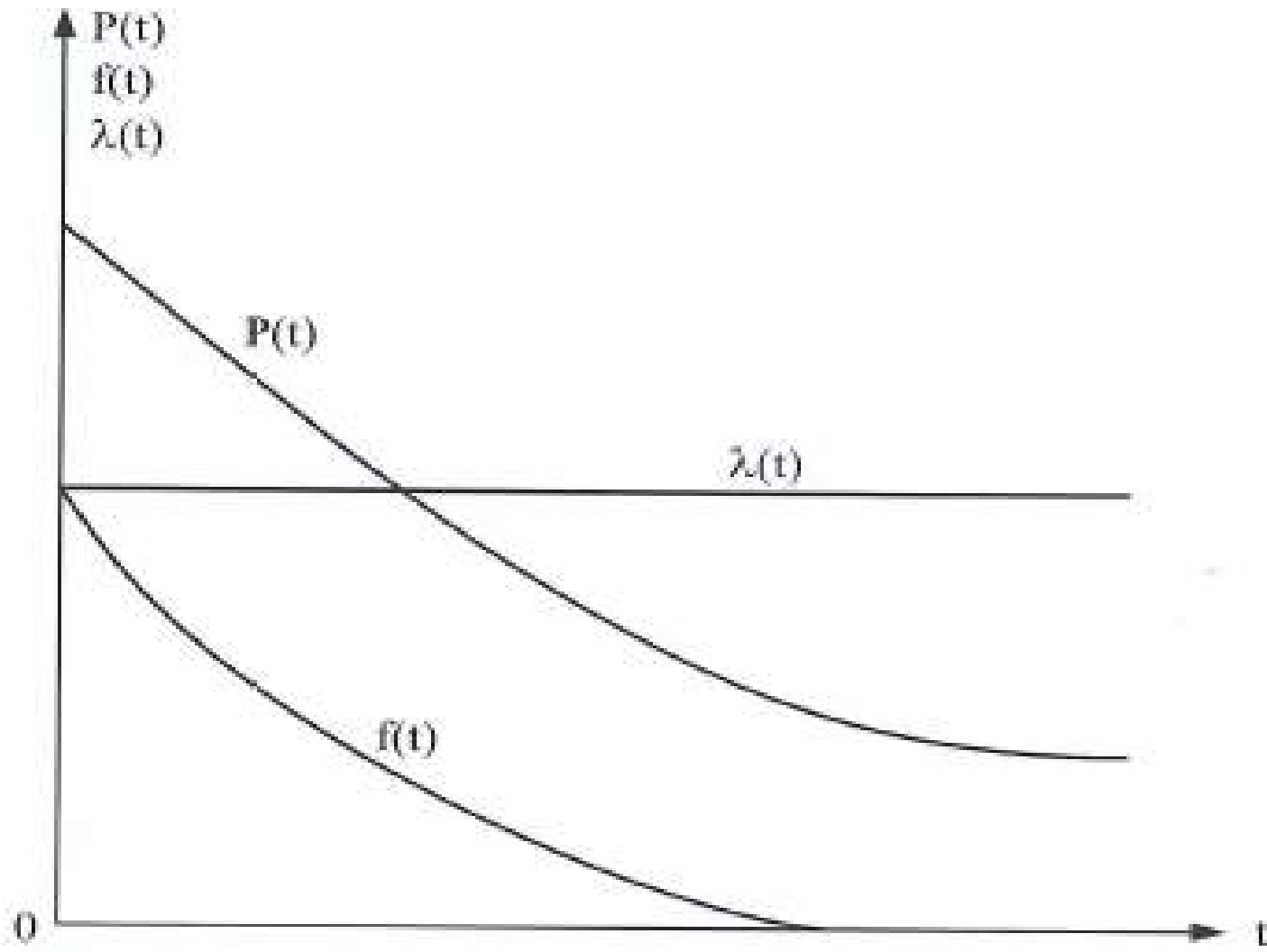
$$f(t) = -P'(t) = \lambda_0 b t^{b-1} \exp(-\lambda_0 t^b);$$

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_0 t^b) dt = \lambda_0^{-1/b} \Gamma(1+1/b),$$

# Распределение Вейбулла-Гнеденко



# *Распределение экспоненциальное*



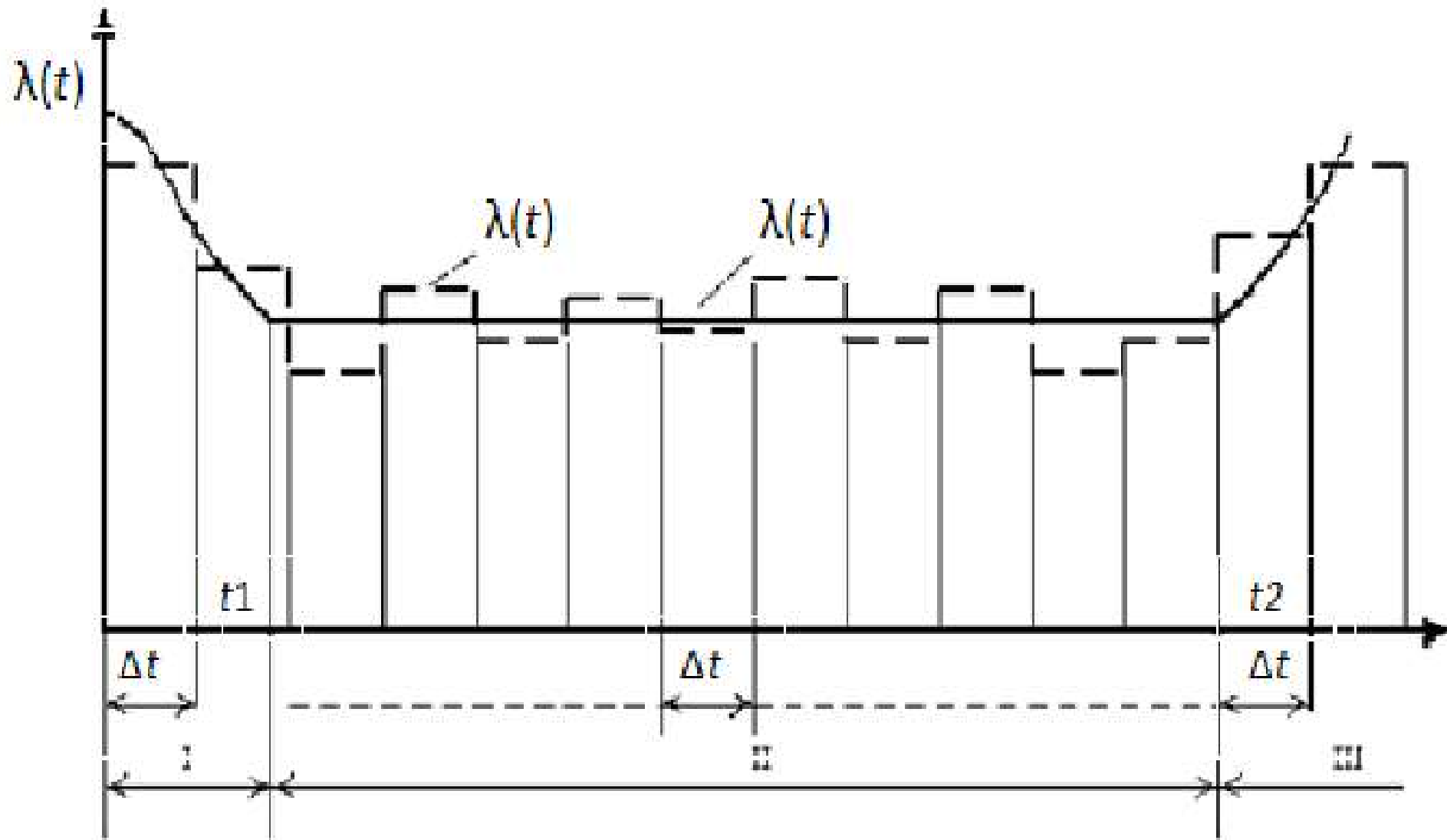
# *Распределение экспоненциальное*

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t};$$

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

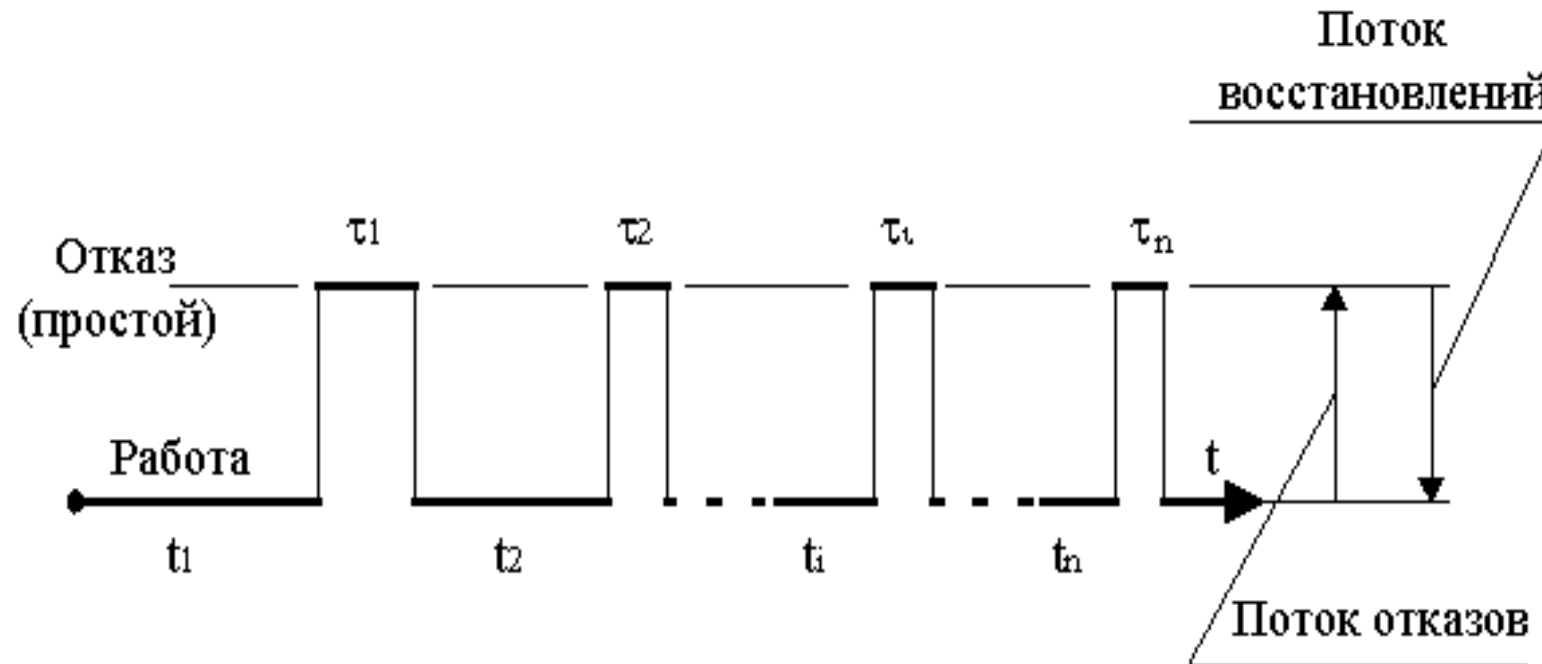
$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda = \text{const};$$

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt.$$



# Показатели надежности для восстанавливаемых объектов

## 1. Показатели безотказности



## 1.1 Вероятность безотказной работы

$$P(t) = P(t \geq t_n)$$

1.2 Поток отказов - предел отношения вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящейся к нулю

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t) - r(t)]}{\Delta t}, \quad \omega(t) = \frac{-\partial P / \partial t}{P(t)}$$

Статистическую оценку параметра потока отказов определяют по формуле:

$$\hat{\omega}(t) = \frac{r(t_2) - r(t_1)}{t_2 - t_1}.$$



### 1.3 Нарботка на отказ

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

Статистическая оценка средней наработке на отказ определяется:

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

где  $r(t)$ — число отказов, фактически произошедших за суммарную наработку  $t$

### 1.4 Гамма-процентная наработка до

**отказа:** наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью , выраженной в процентах  $\gamma$  (где  $F(t_\gamma)$  – функция распределения наработки до отказа):

$$F(t_\gamma) = 1 - \frac{\gamma}{100},$$

## 2. ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

2.1 Вероятность восстановления Вероятность того, что время (до) восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение

$$P_v(t) = P\{t_v \leq T\}$$

2.3 Время восстановления - математическое ожидание времени до восстановления

$$\hat{T}_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i,$$

2.2 Поток восстановления - Условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено

$$\mu(t) = \frac{P'_v(t)}{1 - P_v(t)}$$

Статистическая оценка этого показателя

$$\hat{\mu}(t) = \frac{n_v}{N_{н.ср} \Delta t},$$

где  $n_v$  – количество восстановлений однотипных объектов за интервал  $\Delta t$ ;  $N_{н.ср}$  – среднее количество объектов, находящихся в невосстановленном состоянии на интервале  $\Delta t$ .

### 3. ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

3.1 Средний срок службы - Математическое ожидание срока службы

$$T_{сл} = \int_0^{\infty} t_{сл} \cdot f(t) dt$$

3.2 Гамма-процентный срок службы - Календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах

$$P(T_{сл}) = \gamma / 100$$

## 4. Сохраняемость

4.1 Средний срок сохраняемости - математическое ожидание срока сохраняемости

$$T_c = \int_0^{\infty} t_{c.i} f(t) dt$$

4.2 Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью, выраженной в процентах  $\gamma$

$$P(T_{c\gamma}) = \gamma / 100$$

# КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

1.1 Коэффициент готовности -Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_{\text{В}}}$$

1.2 Коэффициент простоя

$$K_{\Pi}(t) = 1 - K_{\Gamma}(t) = \frac{T_{\text{В}}}{T + T_{\text{В}}} = \frac{\omega}{\omega + \mu}$$

1.3 Коэффициент опасности

$$\rho = \frac{\omega}{\mu} = \frac{T_{\text{В}}}{T}$$

# Комплексные показатели надежности

1.4 Коэффициент оперативной готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени

$$K_{0.Г.} = K_{Г.} P(t)$$

1.5 Коэффициент технического использования - отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период

$$K_{Т.И.} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + T_{р\Sigma} + T_{т.о\Sigma}}$$

## ВОПРОСЫ ПО 1 И 2 ЛЕКЦИИ

1. Что такое надежность
2. Сколько существует категорий надежности электроснабжения (в соответствии с ПУЭ)?
3. Чем отличается объект и система в Теории надежности
4. Перечислите основные возможные состояния объекта
5. В результате каких событий происходит переход от одного состояния в другое?
6. Чем отличаются единичный и комплексный показатели надежности
7. Назовите основные показатели безотказности
8. Какая функция распределения принимается для вероятностных показателей надежности в период нормальной эксплуатации
9. Назовите основные показатели ремонтнопригодности
10. Назовите основные комплексные показатели