



Надёжность систем

теплоснабжения промышленных

предприятий

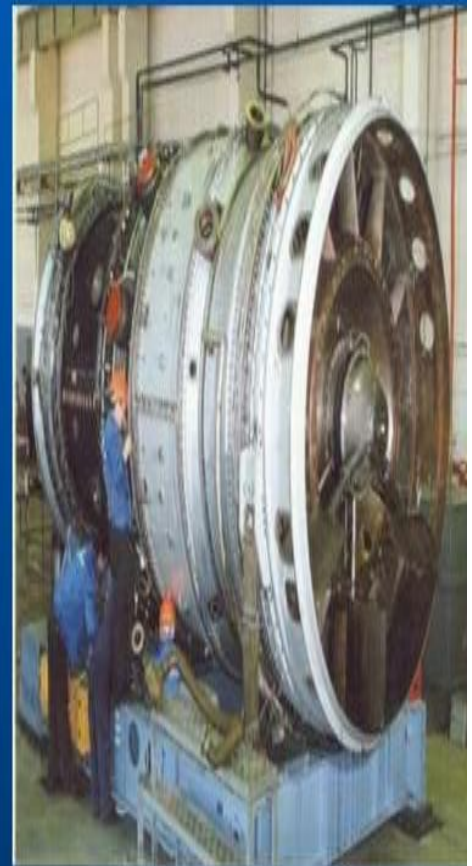
Лекция №1. Проблема обеспечения

надёжности объектов теплоэнергетики и

основные пути её решения

Основные понятия и определения

Надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования



ГОСТ 27.002-89 Надёжность в технике. Основные понятия и определения.



Условия надёжной эксплуатации энергетического объекта

1. Проектирование
по нормам надёжности

2. Изготовление
с учётом требований
по надёжности

3. Обеспечение
надёжности в
эксплуатации



Государственные стандарты «Надёжность в технике»

- ГОСТ 27.000- 00 Общие вопросы надёжности
- ГОСТ 27.100- 00 Нормирование надёжности
- ГОСТ 27.200- 00 Методы расчёта надёжности
- ГОСТ 27.300- 00 Методы обеспечения надёжности
- ГОСТ 27.400- 00 Испытания и контроль надёжности
- ГОСТ 27.500- 00 Сбор и обработка информации по надёжности
- ГОСТ 27.600- 00 – 27.900- 00 Резерв

Задачи теории надёжности:

1. Изучение закономерностей возникновения отказов.
2. Оценка влияния внешних и внутренних факторов на надёжность технических объектов.
3. Установление количественных характеристик и методов расчёта надёжности.
4. Разработка методов испытаний на надёжность.
5. Определение методов обеспечения надёжности при проектировании и в процессе изготовления.
6. Разработка методов поддержания надёжности в эксплуатации.

Содержание свойства «надёжность»



Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;



Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;



Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров в течение и после хранения и транспортирования;



Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособности путём технического обслуживания и ремонта.

Состояния объекта



Работоспособное - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД;



Частично неработоспособное – состояние, при котором объект способен частично выполнять требуемые функции;

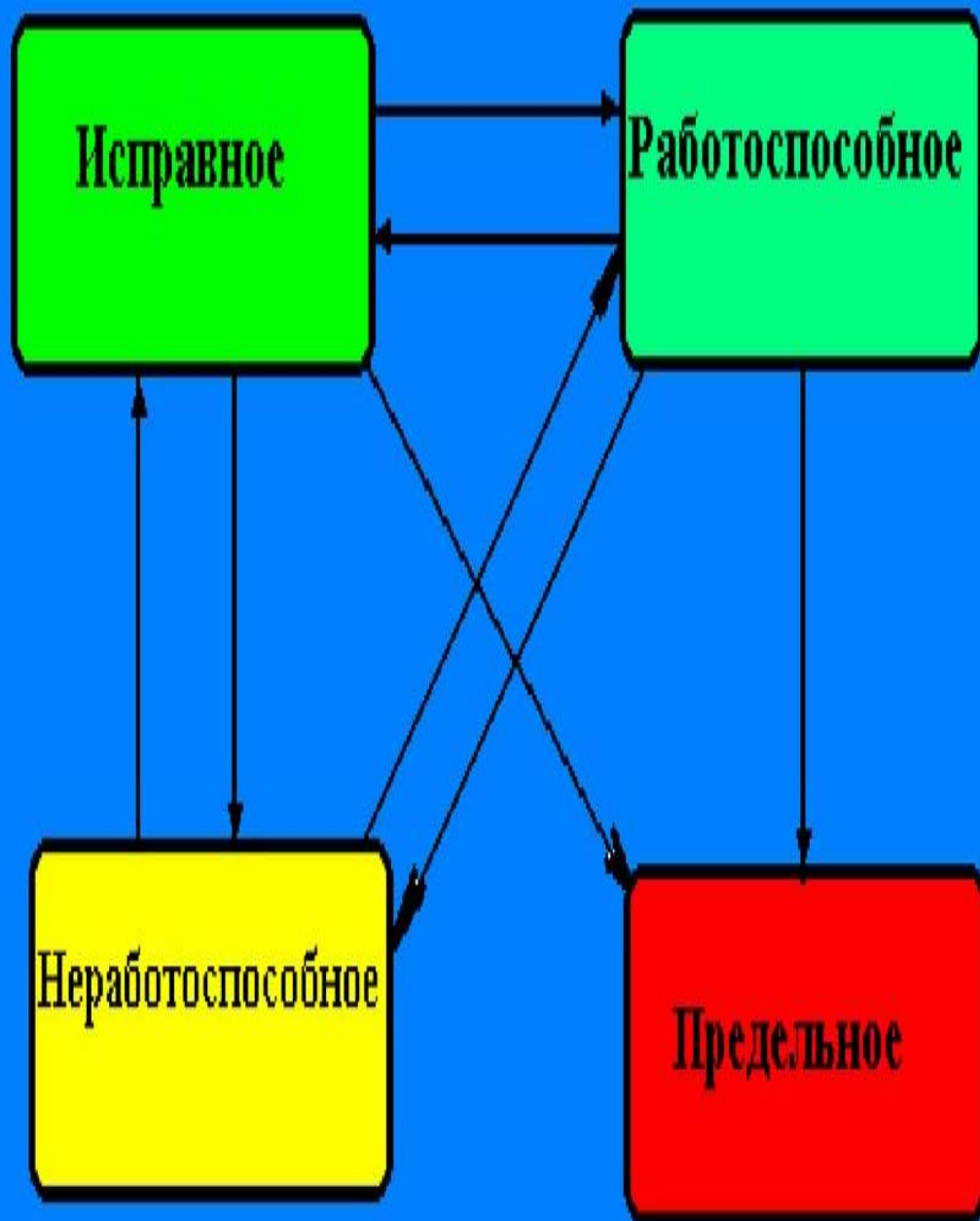


Неработоспособное – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД;



Предельное - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

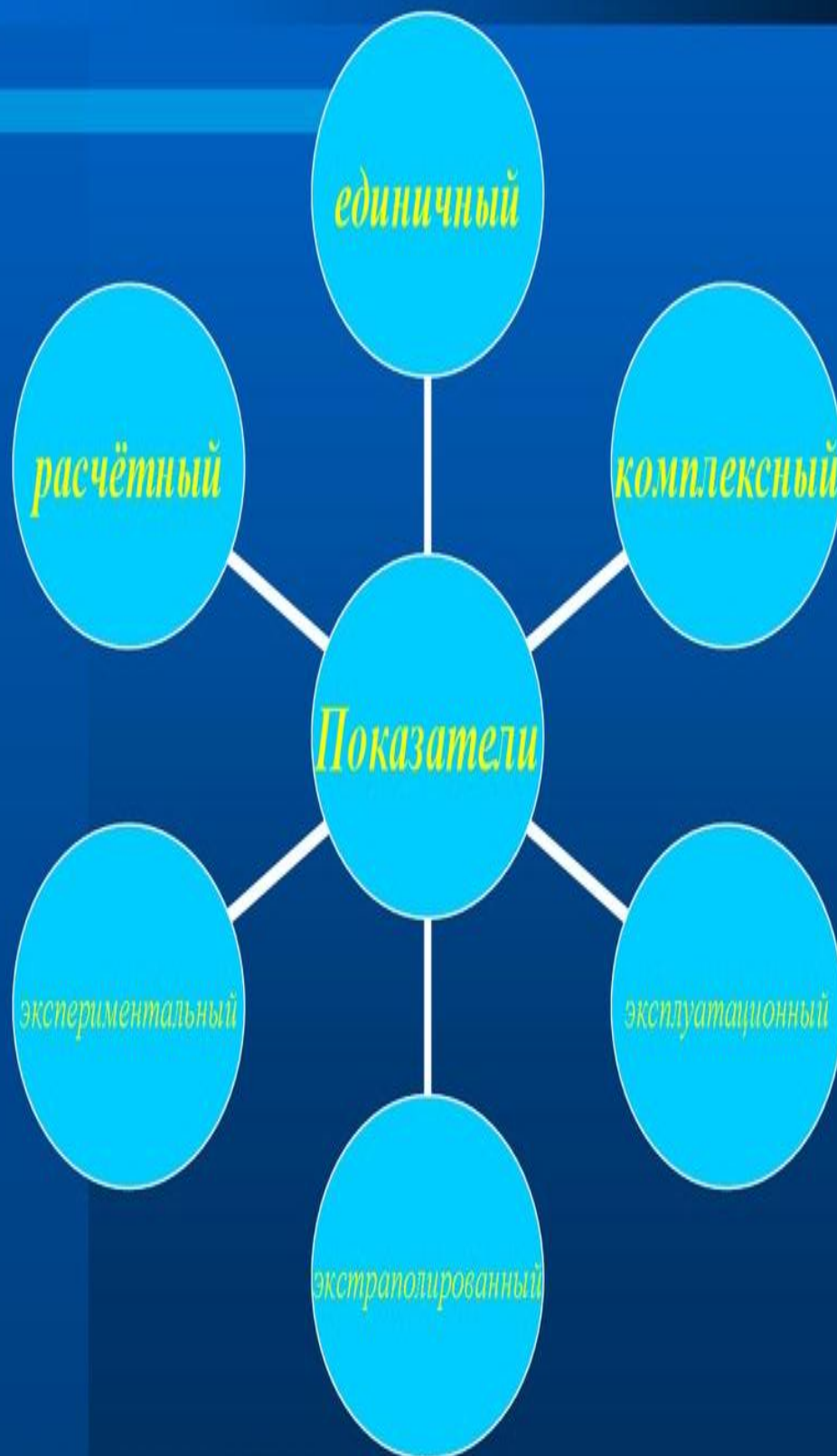
Связь между техническими состояниями объекта



Отказы технических объектов



Показатели надёжности



а) комплексные показатели надёжности

- K_G - коэффициент готовности
- K_{OG} - коэффициент оперативной готовности
- $K_{ТИ}$ - коэффициент технического использования
- $K_{эф}$ - коэффициент сохранения эффективности

Коэффициент готовности объекта

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается

$$k_{Г} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_{восст}}, \text{ где}$$

t_{cp} – средняя наработка до отказа, ч;

$t_{восст.}$ – среднее время восстановления после отказа, ч;



Коэффициент технического использования объекта

Коэффициент технического использования –

отношение времени пребывания объекта в работоспособном состоянии к суммарному времени работоспособного состояния и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом

$$k_{ТИ} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_{восст} + t_{ТО}}, \text{ где}$$

t_{cp} – средняя наработка до отказа, ч;

$t_{восст.}$ – среднее время восстановления после отказа, ч;

$t_{ТО}$ – среднее время технического обслуживания и планового ремонта, ч.





б) единичные показатели:

- показатели безотказности



Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет;



Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа;



Гамма-процентная наработка до отказа - наработка, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью γ , выраженной в процентах;



Интенсивность отказов – плотность вероятности возникновения отказа, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Основные зависимости между показателями надёжности

$$p(t) = [N - \Delta N(t)] / N = 1 - \Delta N(t) / N \approx 1 - Q(t); \quad (1)$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = -\frac{1}{N} \frac{d\Delta N(t)}{dt} = -f(t); \quad (2)$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = -\frac{N_i(t)}{N} \frac{d\Delta N(t)}{N_i(t) dt}; \quad (3)$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = -p(t) \cdot \lambda(t);$$

$$\lambda(t) = -p'(t) / p(t); \quad (4)$$

$$f(t) = p(t) \cdot \lambda(t); \quad (5)$$

$$\int_0^t \lambda(\tau) d\tau = -\int_1^{p(t)} \frac{dp(t)}{p(t)} = -\ln p(t);$$

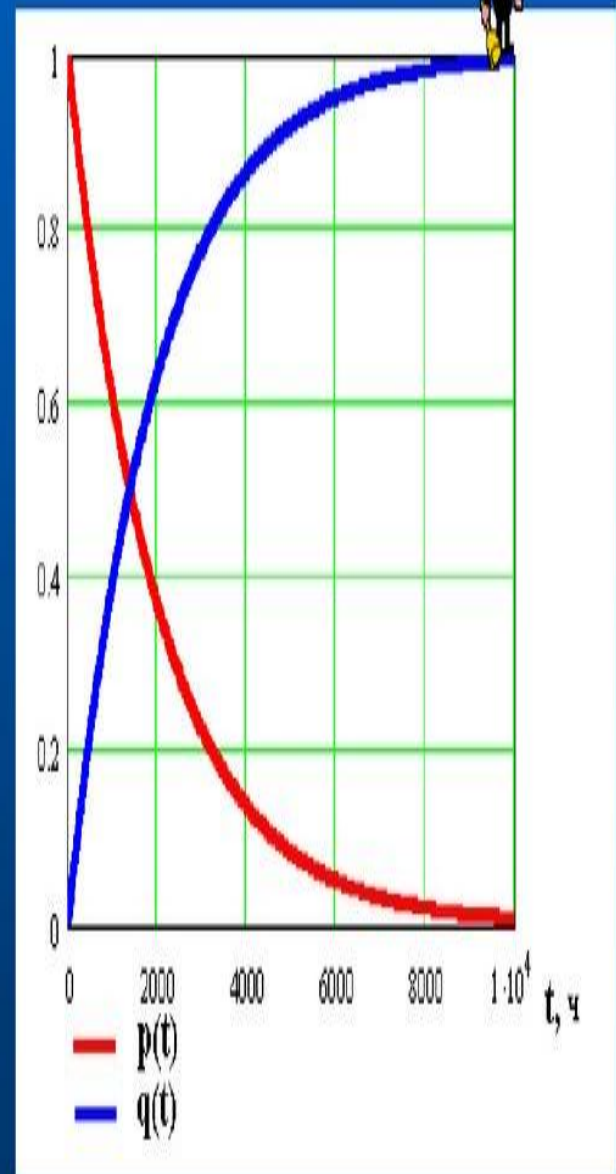
$$p(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right); \quad (6)$$



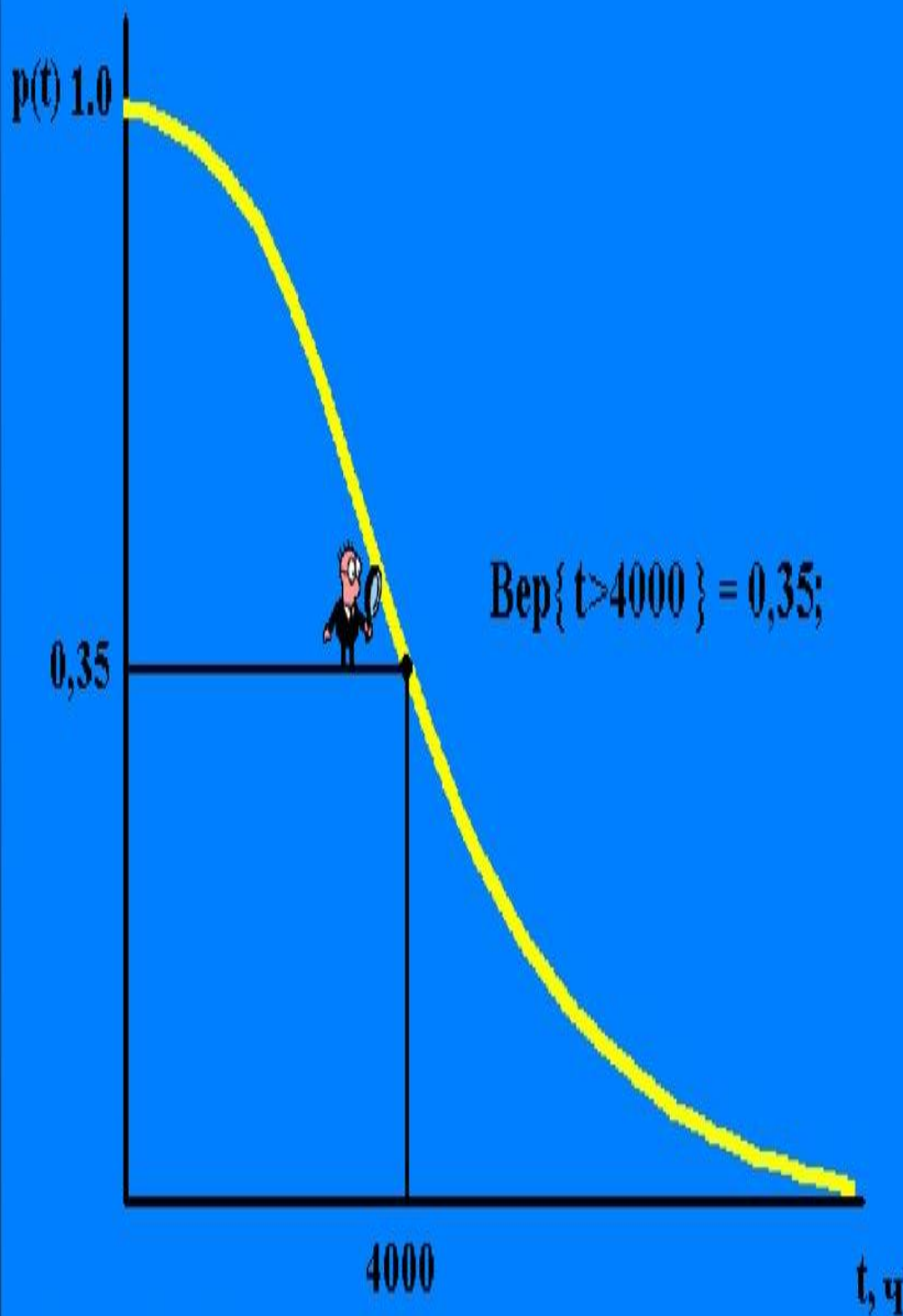
Вероятность безотказной работы

$$P(\tau) = \exp(-\lambda \cdot \tau);$$

$$\lambda = \frac{1}{\tau_{\text{ср}}}$$



Анализ уровня безотказности



Интенсивность отказов

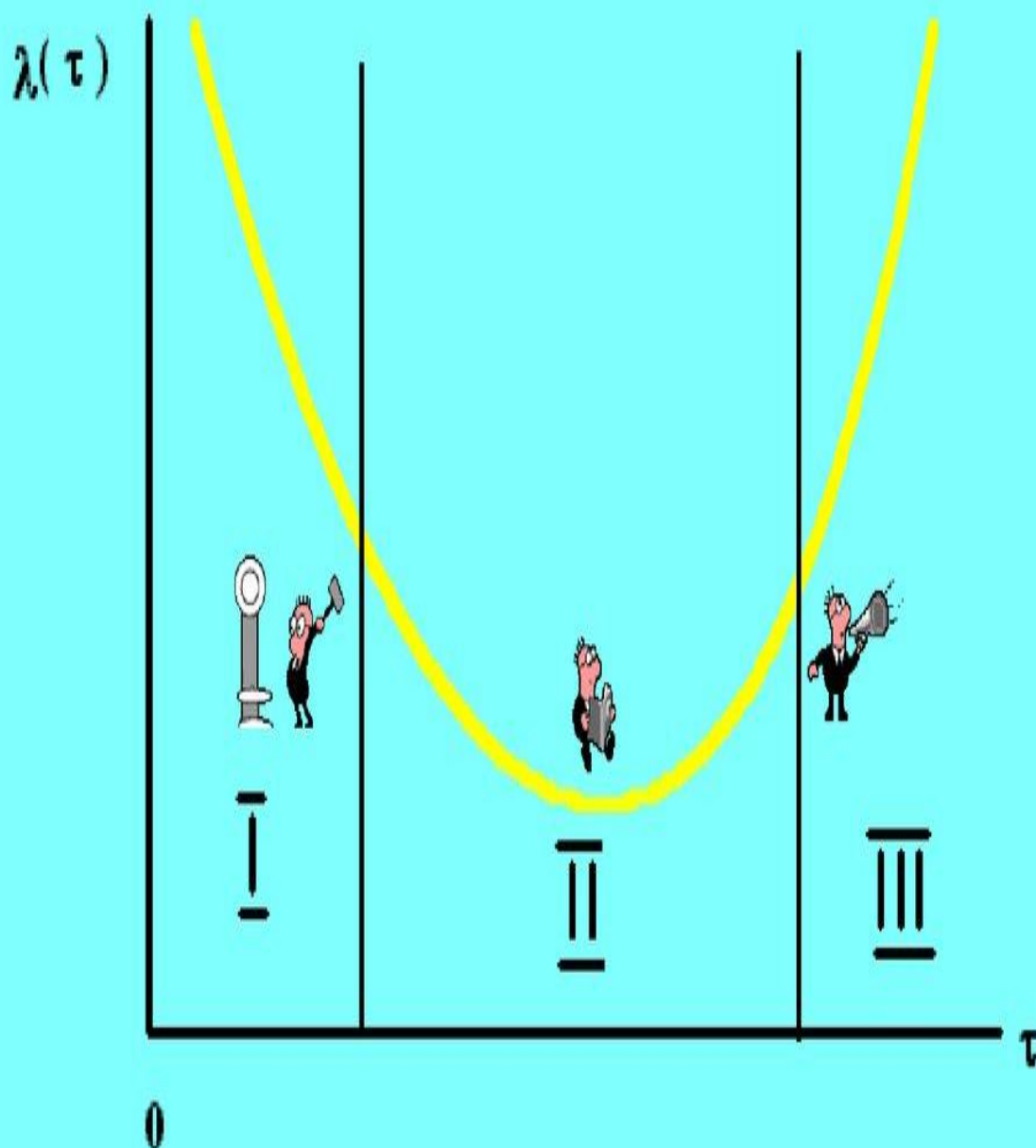
$$\lambda_i^* \approx \frac{\Delta N_i}{\Delta t_i \cdot N_{исп.(i-1)}}, \text{ где}$$

ΔN_i – число отказов в i -м интервале;

Δt_i – ширина i -го интервала;

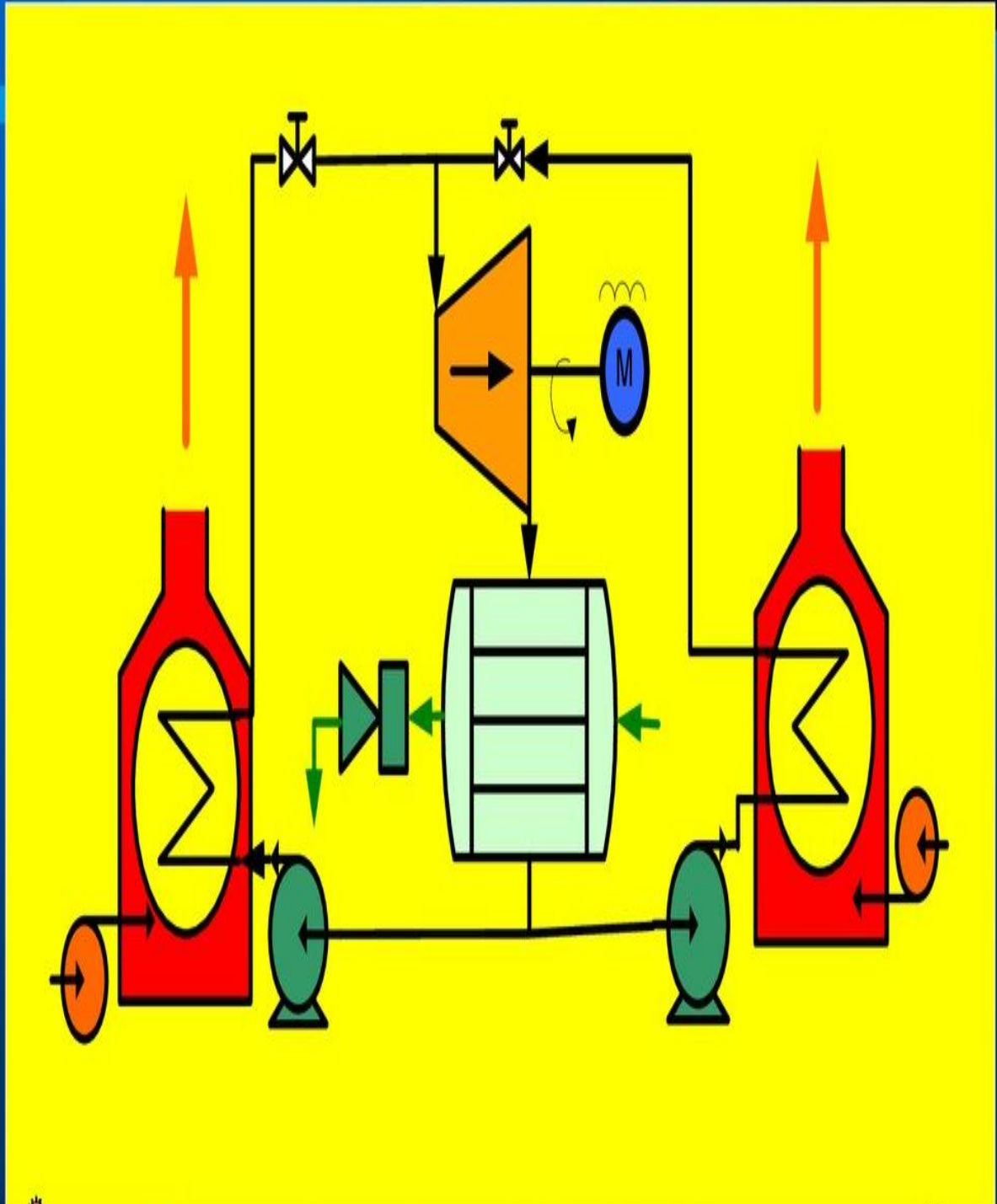
$N_{исп.(i-1)}$ – количество исправных объектов к началу i -го интервала;

Изменение интенсивности отказов при увеличении наработки объекта





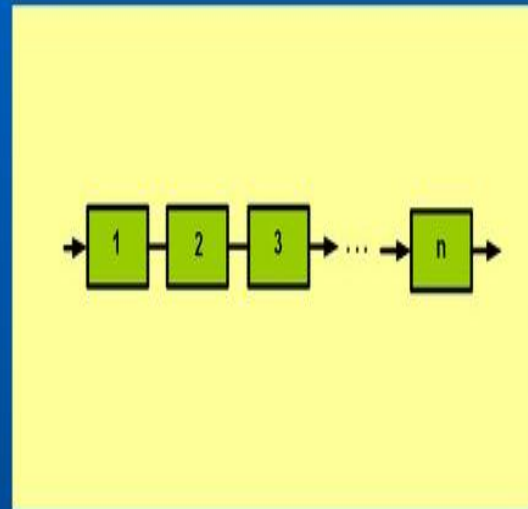
Расчёт показателей безотказности технической системы



Принципиальная схема энергоблока

Расчёт безотказности объектов с последовательной структурой

- ✓ Вероятность безотказной работы объекта при последовательном соединении элементов равна произведению вероятностей элементов.
- ✓ Средняя наработка до отказа объекта равна минимальной средней наработке элементов



$$p_c(t) = p_1(t) p_2(t) p_3(t) \cdots p_n(t);$$

$$p_c(t) = \exp \left(- \sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(\tau) d\tau \right);$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t).$$



Пример расчёта безотказности объекта с последовательной структурой ЭЛЕМЕНТОВ

Необходимо обеспечить безотказное функционирование с вероятностью $p = 0,95$ тепловой сети, состоящей из 40 последовательно соединённых элементов.

Рассчитать требуемую вероятность безотказной работы одного элемента

Решение:

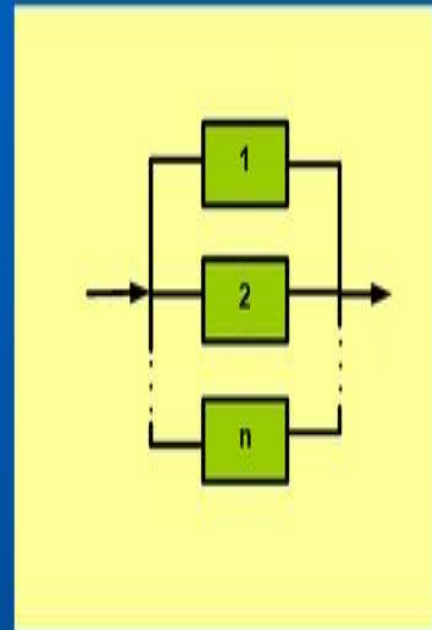
$$p_{об}(t) = [p_{э}(t)]^n;$$

$$p_{э}(t) = [p_{об}(t)]^{1/n} = (0.95)^{1/40} = 0.9987;$$

Ответ: Каждый элемент должен иметь вероятность безотказной работы не менее 0,9987.

параллельной структурой

- Вероятность отказа объекта, состоящего из параллельно соединённых элементов, равна произведению вероятностей отказов элементов
- Средняя наработка до отказа объекта равна максимальной наработке до отказа элементов

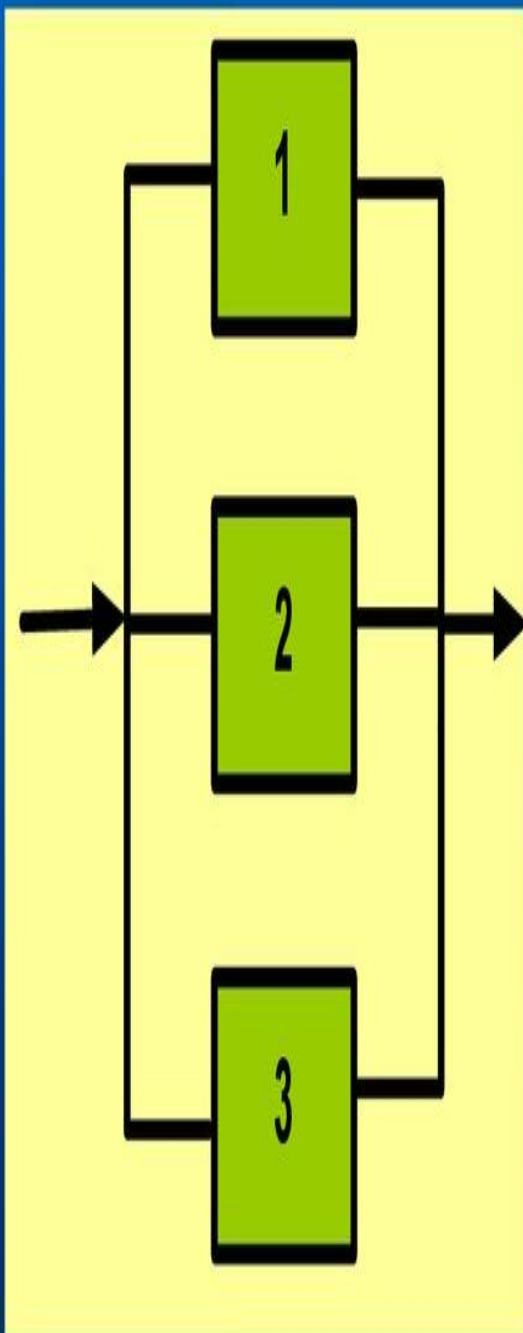


$$q_c(t) = q_1(t) q_2(t) \cdots q_n(t);$$

$$p_c(t) = 1 - q_c(t);$$

$$p_c(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n.$$

Пример расчёта безотказности объекта с параллельной структурой элементов



Исходная информация :

$$p_1 = 0,9; p_2 = 0,8; p_3 = 0,7$$

Алгоритм расчёта :

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,9 = 0,1; \quad q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,8 = 0,2;$$

$$q_3 = 1 - p_3 = 1 - 0,7 = 0,3;$$

$$q_c = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 = 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 0,006;$$

$$p_c = 1 - q_c = 1 - 0,006 = 0,994.$$

Ответ : Вероятность безотказной работы

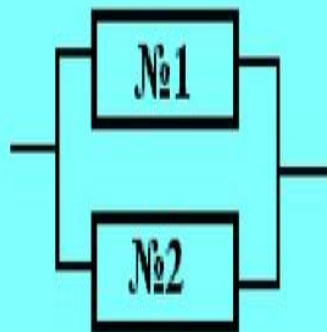
объекта равна $p_c = 0,994$.

Характеристики безотказности объектов сложной структуры

$$P^{c1}(\tau) = P_1 P_2 = \exp(-(\lambda_1 + \lambda_2) \tau);$$

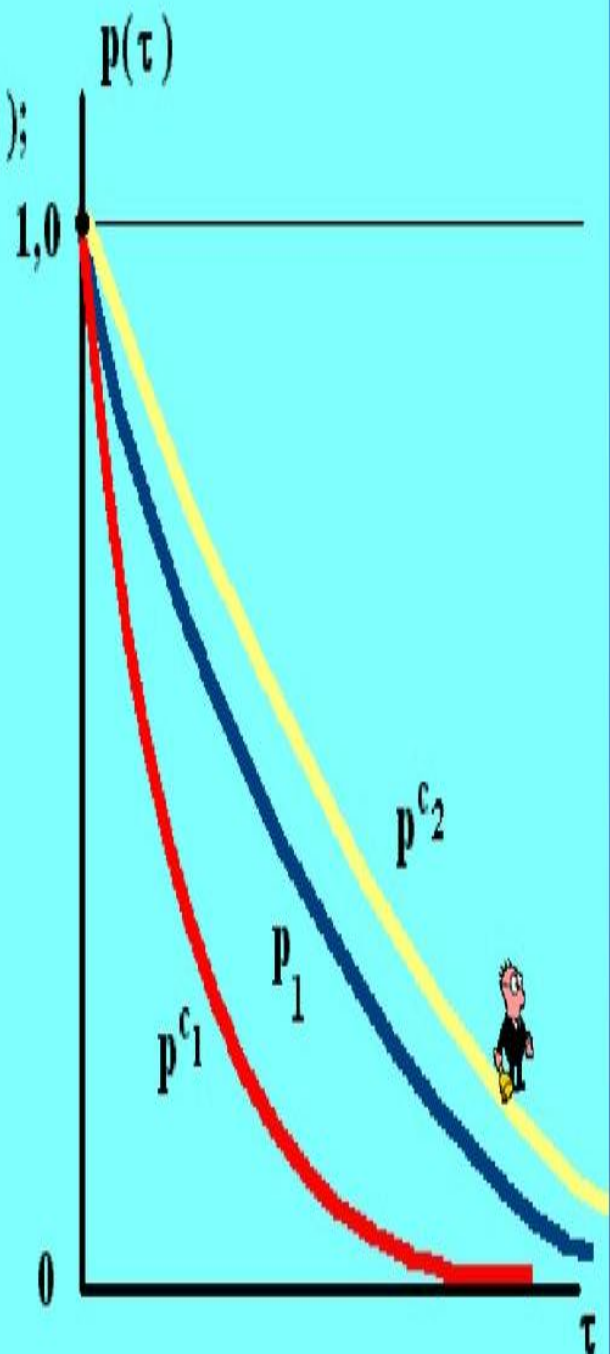


$$P^{c2}(\tau) = 1 - q^c(\tau) = 1 - q_1 q_2$$



$$q_1 = 1 - \exp(-\lambda_1 \tau);$$

$$q_2 = 1 - \exp(-\lambda_2 \tau);$$





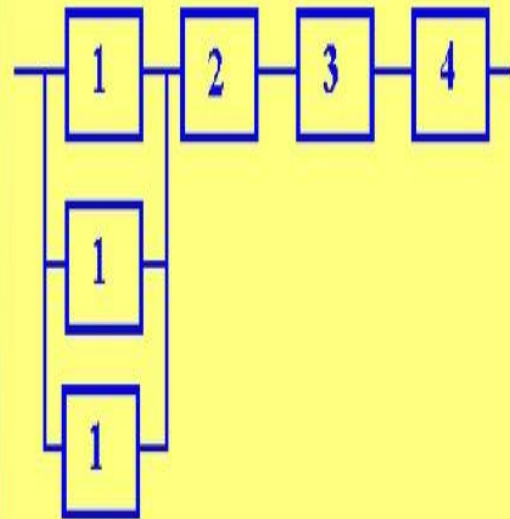
Обеспечение безотказности объектов путём резервирования элементов

1)

$$p_n = 1 / (1 + \lambda / \mu)^3;$$

$$p_c = p_n \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4;$$

"Горячее" резервирование элементов

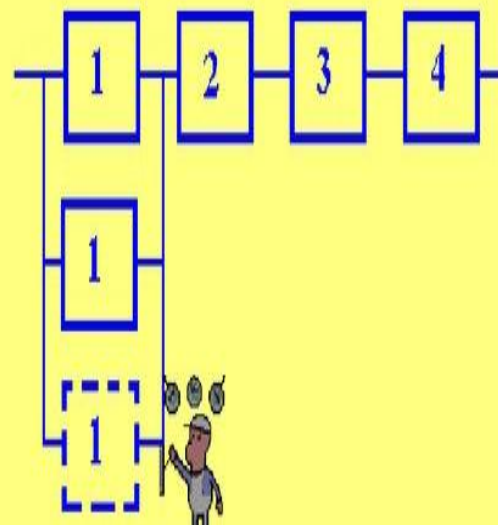


2)

$$p_n = 3 / [2(1 + \lambda / \mu)^3 + 1];$$

$$p_c = p_n \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4;$$

"Холодное" резервирование элементов



Пример. Оценка безотказности объекта при горячем резервировании ЭЛЕМЕНТОВ

Исходная информация:

$$p_{k1} = p_{k2} = 0,9; \quad p_t = 0,8;$$

Алгоритм расчёта:

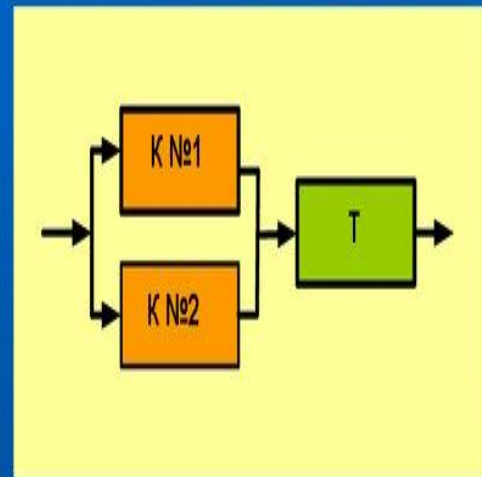
$$1. q_{k1} = 1 - p_{k1} = 1 - 0,9 = 0,1; \quad q_{k2} = 1 - p_{k2} = 1 - 0,9 = 0,1;$$

$$2. p_{нар} = 1 - q_{k1} \cdot q_{k2} = 1 - 0,1 \cdot 0,1 = 0,99;$$

$$3. p_{об} = p_{нар} \cdot p_t = 0,99 \cdot 0,8 = 0,792.$$

Ответ: Вероятность безотказной работы

объекта равна $p_{об} = 0,792$.



Пример. Оценка безотказности объекта при горячем резервировании ЭЛЕМЕНТОВ

Исходная информация:

$$p_{k1} = p_{k2} = 0,9; \quad p_{тн} = 0,95; \quad p_k = 0,7; \quad p_t = 0,8;$$

Алгоритм расчёта:

$$1. \quad p_{ka1} = p_{k1} \cdot p_{тн} = 0,9 \cdot 0,95 = 0,855; \quad p_{ka2} = p_{ka1};$$

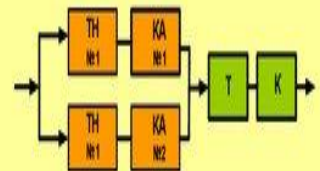
$$2. \quad q_{ka1} = 1 - p_{ka1} = 1 - 0,855 = 0,145; \quad q_{ka2} = q_{ka1} = 0,145;$$

$$3. \quad p_{нар} = 1 - q_{ka1} \cdot q_{ka2} = 1 - 0,145 \cdot 0,145 \cong 0,989;$$

$$4. \quad p_{об} = p_{нар} \cdot p_t \cdot p_k = 0,989 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 0,548.$$

Ответ: Вероятность безотказной работы

объекта равна $p_{об} = 0,548$.





Пример. Расчёт показателей надёжности энергоблока при холодном резервировании котлоагрегата

Исходная информация:

$$\lambda_{k1} = \lambda_{k2} = 0,0001; \quad \mu_{k1} = \mu_{k2} = 0,1; \quad p_t = 0,8;$$

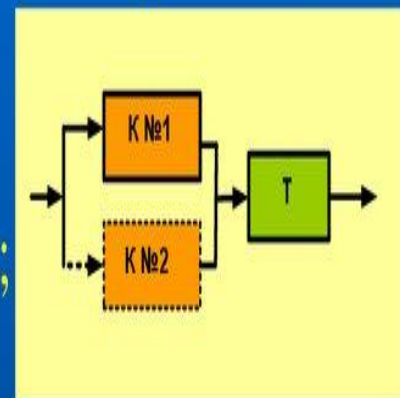
Алгоритм расчёта:

$$P_{нар} = \frac{2}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + 1} = \frac{2}{\left(1 + \frac{0,0001}{0,1}\right)^2 + 1} \cong 0,999;$$

$$P_{об} = P_{нар} \cdot p_t = 0,99 \cdot 0,8 = 0,7992.$$

Ответ: Вероятность безотказной работы

объекта равна $P_{об} = 0,7992$.



Заключение

- Расчёт показателей надёжности объектов теплоэнергетики при проектировании выполняется с целью проверить соответствие создаваемого объекта требованиям НТД.
- При расчёте объект представляется в виде множества последовательных и параллельных звеньев, объединённых в общую структуру.
- Расчёт надёжности объектов, имеющих структурно-сложную схему соединения элементов, выполняется с использованием логико-вероятностных моделей.