

Лекция № 3. Расчёт показателей надёжности объектов теплоэнергетики

Основные вопросы лекции:

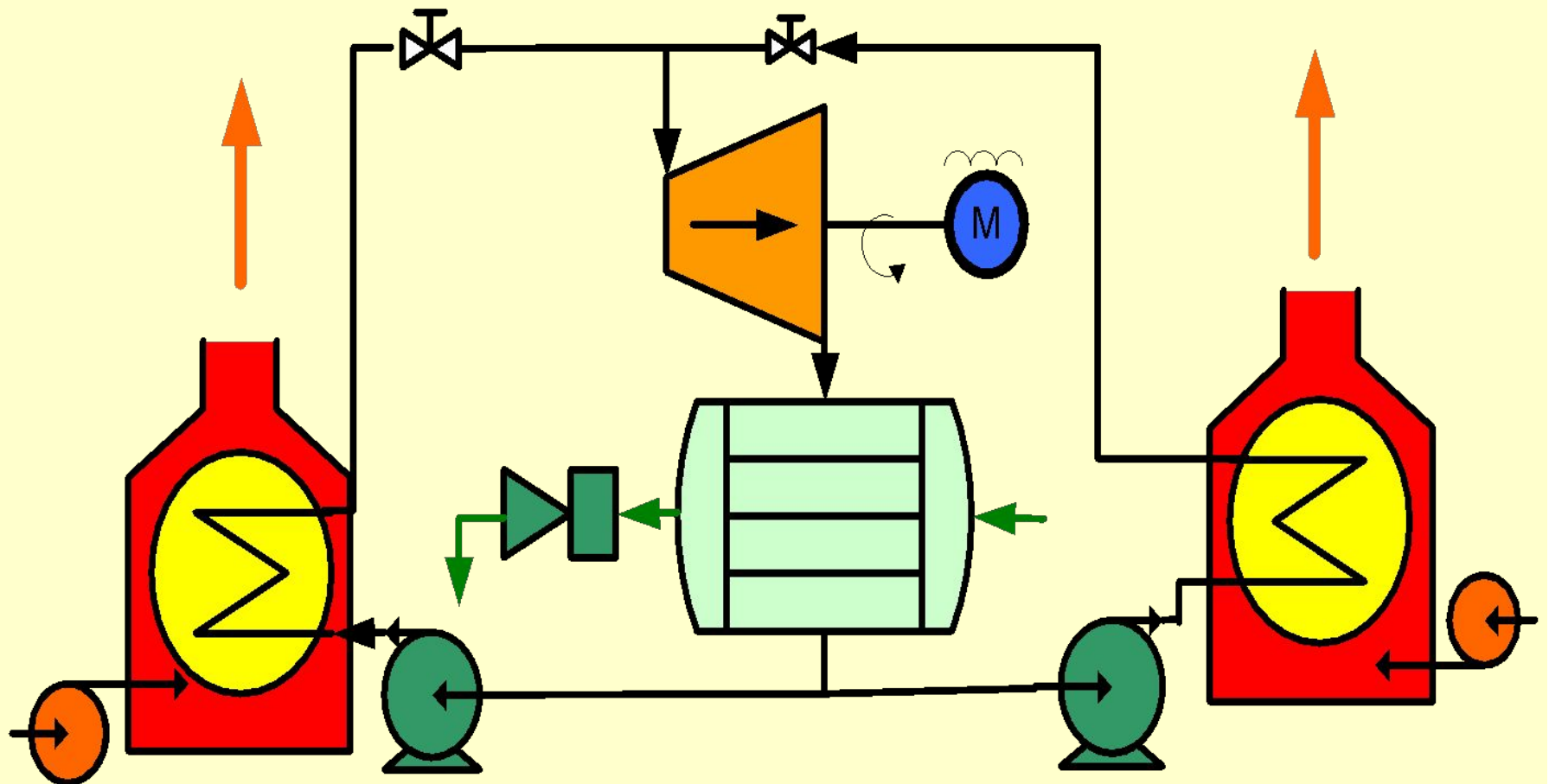
1. Структурный анализ надёжности объектов
2. Расчёт показателей надёжности с учётом резервирования

Алгоритм расчёта

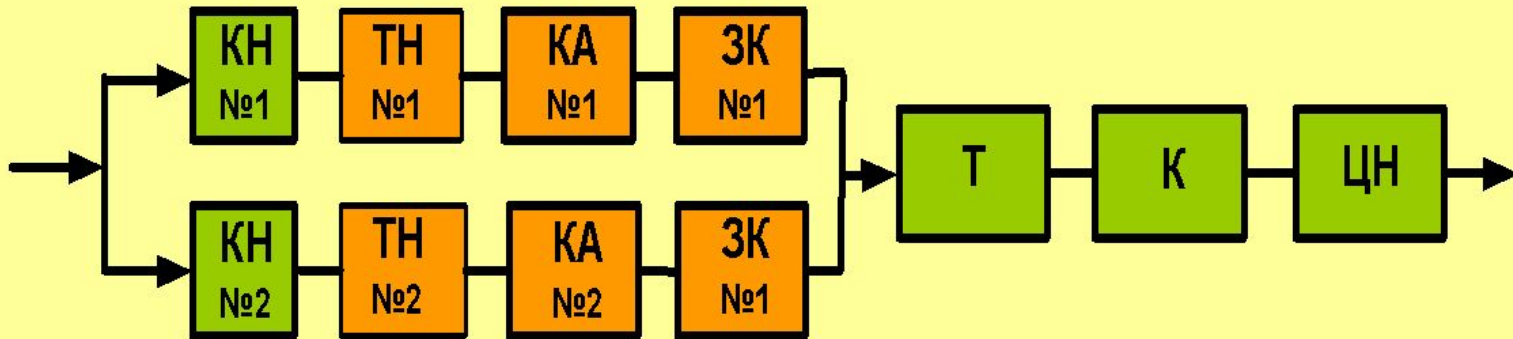
- Определить требования нормативно-технической документации (НТД) к показателям надёжности объекта
- Выбрать метод расчёта и определить значения показателей надёжности
- Сравнить полученные значения с требованиями НТД и принять решение:
 - создаваемый объект соответствует требованиям НТД;
 - требуется доработка проекта с целью обеспечить заданные показатели надёжности.



Принципиальная схема энергоблока

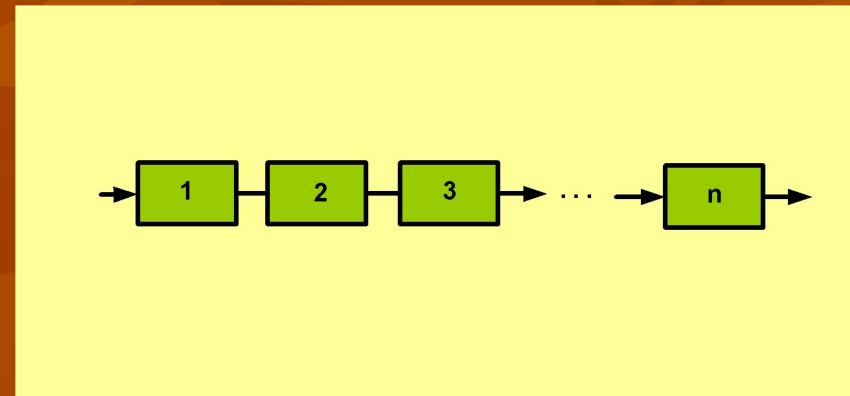


Структурная схема энергоблока



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



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

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

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



Пример расчёта безотказности объекта с последовательной структурой элементов

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

Рассчитать требуемую вероятность безотказной работы одного элемента

Решение:

$$p_{об}(t) = [p_{э}(t)]^n ;$$

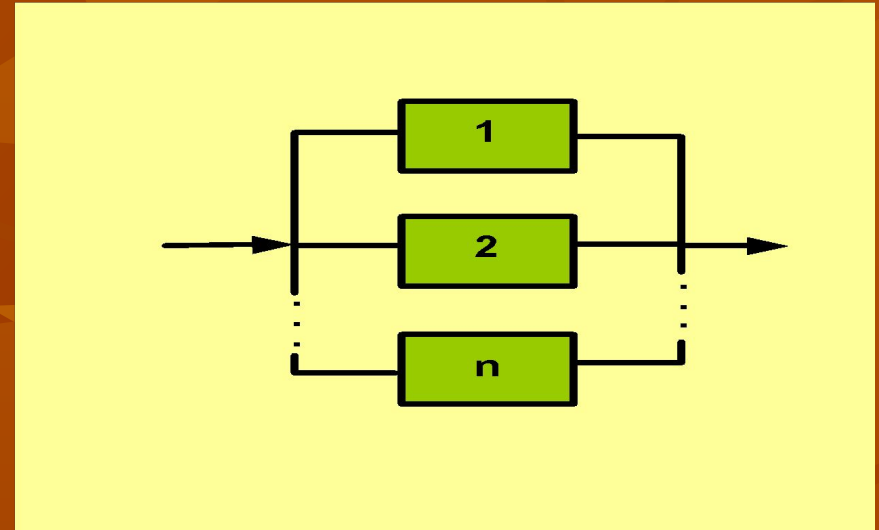
$$p_{э}(t) = [p_{об}(t)]^{1/n} = (0.95)^{1/40} = 0.9987;$$

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



Расчёт безотказности объектов с 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



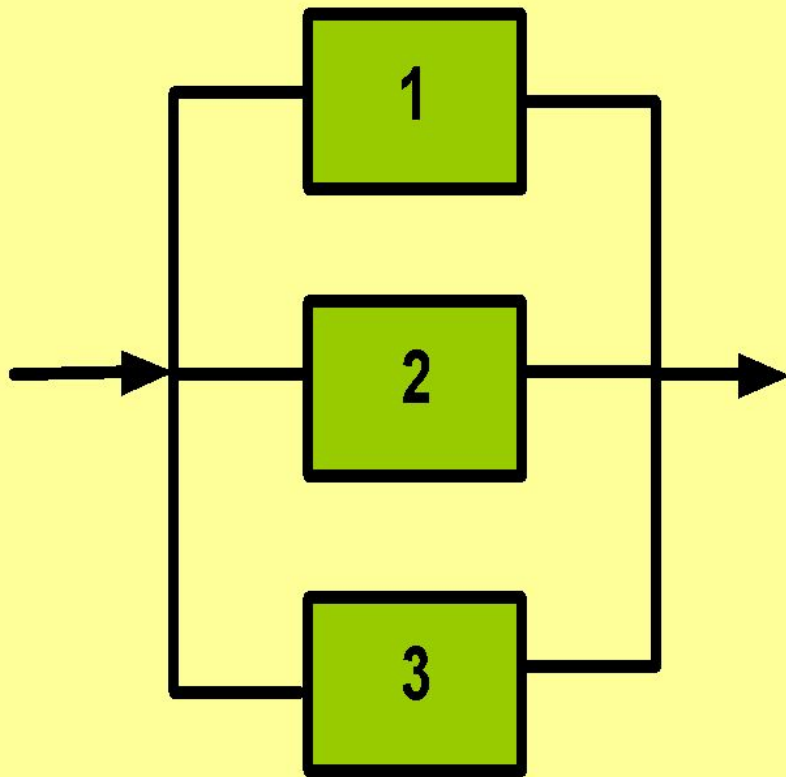
$$q_c(t) = q_1(t) q_2(t) \dots q_n(t);$$

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

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



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

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

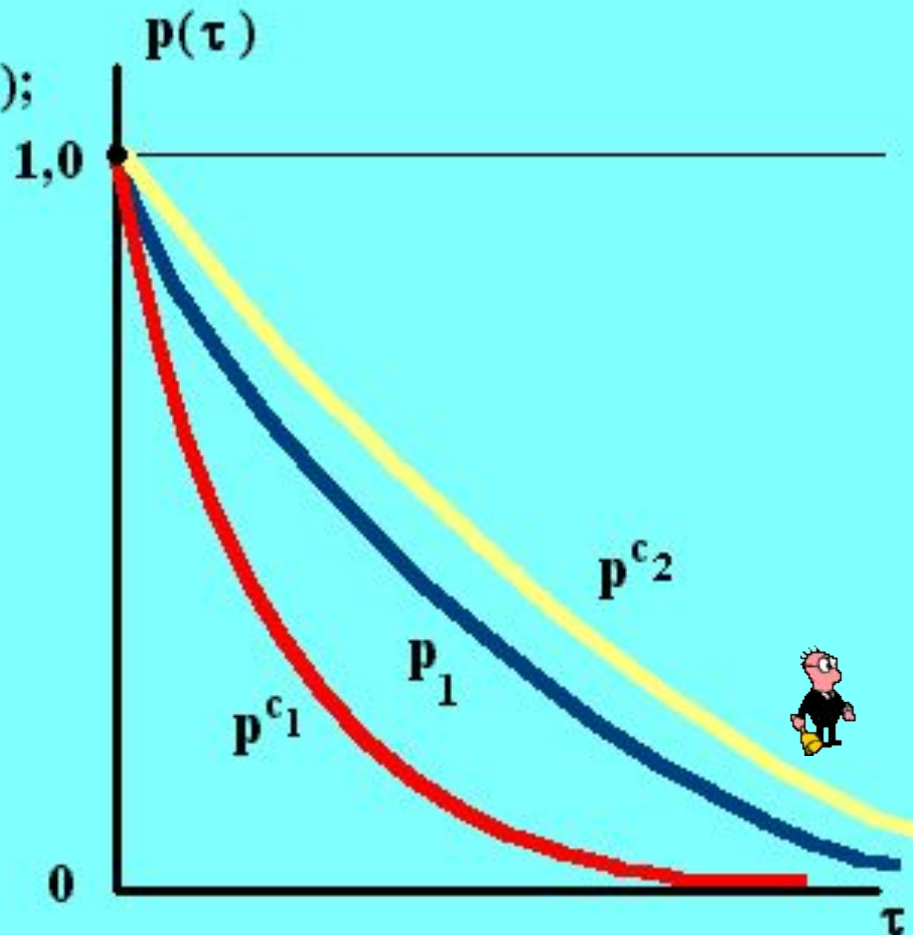


$$P^{c2}(\tau) = 1 - q^c(\tau) = 1 - q_1 \cdot q_2$$



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

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



Обеспечение безотказности объектов путём резервирования элементов

1)

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

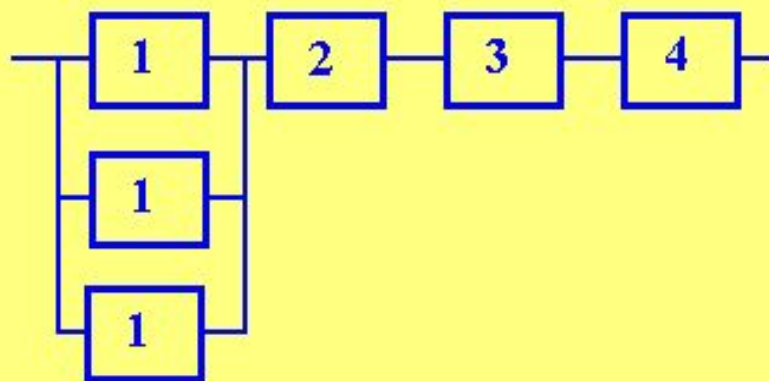
$$p_a = p \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 ;$$

2)

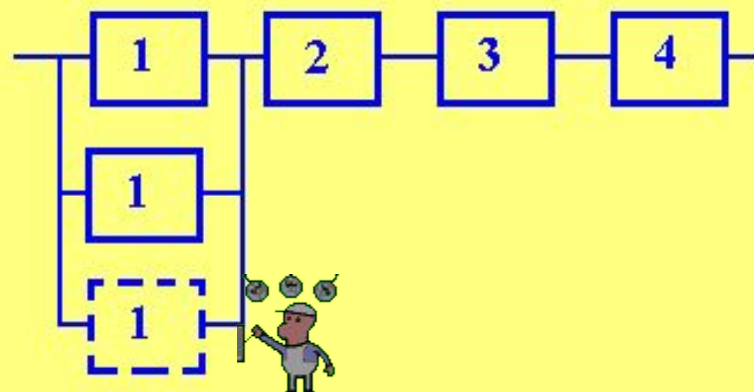
$$p_n = 3 / \left[2 \left(1 + \lambda / \mu\right)^3 + 1\right] ;$$

$$p_a = p \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 ;$$

"Горячее" резервирование элементов



"Холодное" резервирование элементов



Пример 1. Оценка безотказности объекта при горячем резервировании элементов

Исходная информация :

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

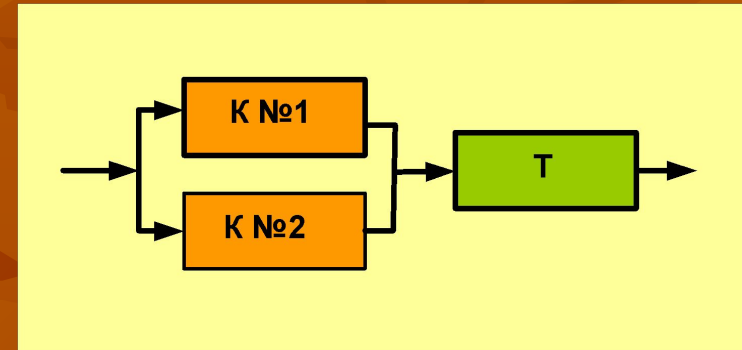
Алгоритм расчёта :

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

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

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

Ответ : Вероятность безотказной работы объекта равна $p_{об} = 0,792$.



Пример 2. Оценка безотказности объекта при горячем резервировании элементов

Исходная информация:

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

Алгоритм расчёта:

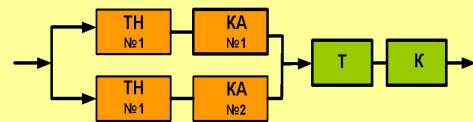
$$1. \quad p_{ka1} = p_{k1} \cdot p_{ТНА} = 0,9 \cdot 0,95 = 0,855; \quad p_{ka2} = p_{ka1};$$

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

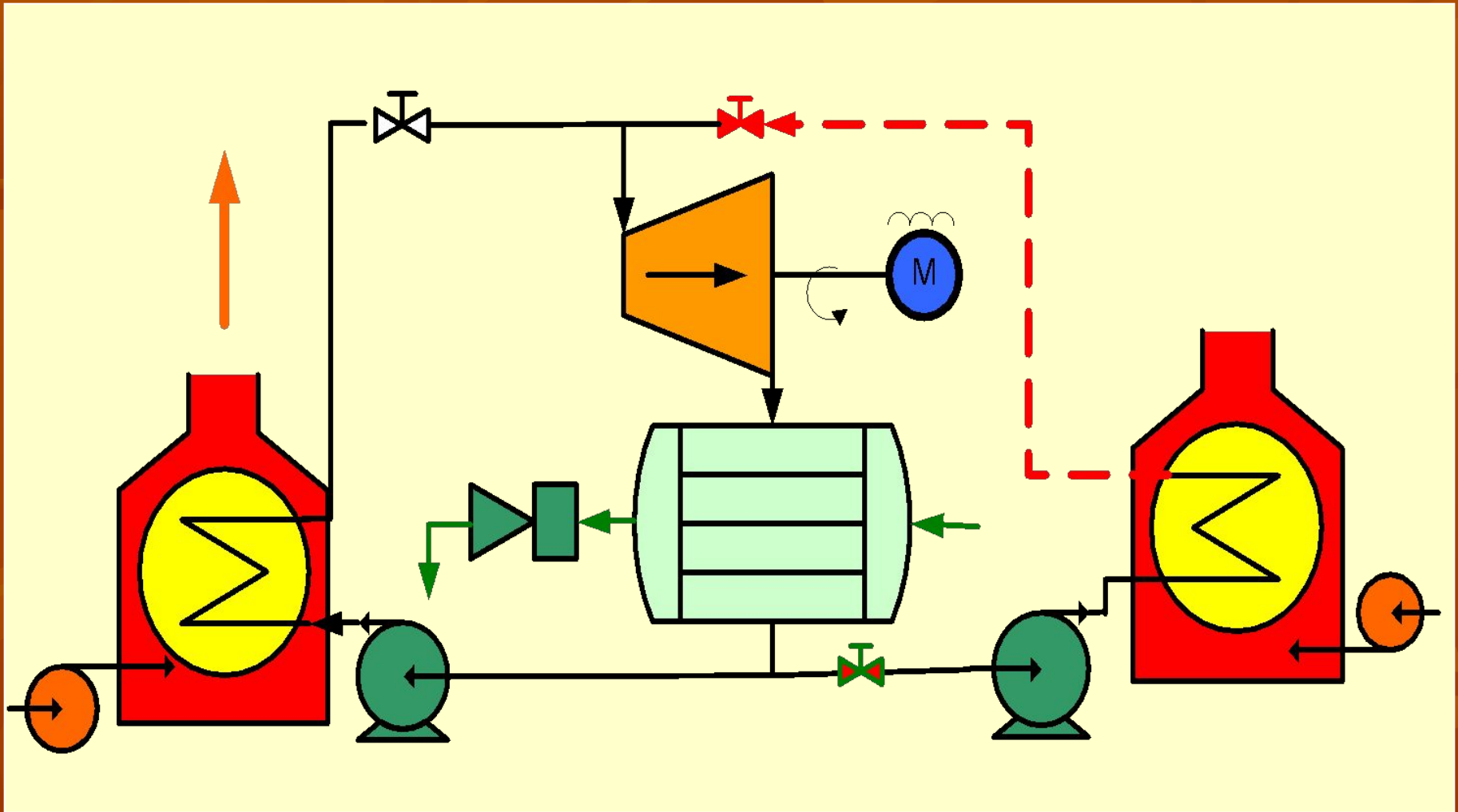
$$3. \quad p_{нар} = 1 - q_{ka1} \cdot q_{ka2} = 1 - 0,145 \cdot 0,145 \cong 0,989;$$

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

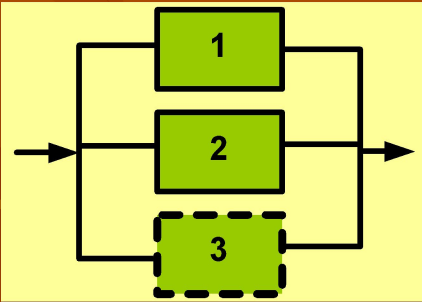
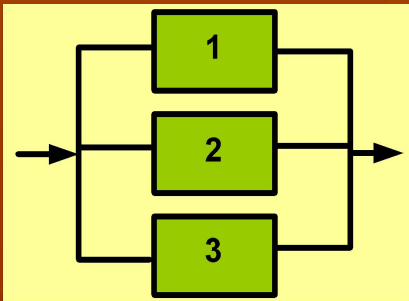
Ответ: Вероятность безотказной работы объекта равна $p_{об} = 0,548$.



Принципиальная схема энергоблока при холодном резервировании котлоагрегата



Расчёт показателей надёжности объектов при горячем и холодном резервировании элементов

Вариант соединения элементов	Схема соединения	Расчётные зависимости
<p>Объект содержит 3 элемента. Два элемента в работе один в холодном резерве</p>		$p_0 = 3 / \left[2(1 + \lambda/\mu)^3 + 1 \right];$ $p_1 = 2p_0 \lambda/\mu;$ $p_2 = p_1 \lambda/\mu;$ $p_3 = p_2 \lambda/(3\mu);$
<p>Объект содержит 3 элемента. Все элементы под нагрузкой</p>		$p_0 = 1 / (1 + \lambda/\mu)^3;$ $p_1 = 3p_0 \lambda/\mu;$ $p_2 = 3p_1 \lambda/\mu;$ $p_3 = 3p_2 \lambda/(3\mu);$

Пример расчёта безотказности объекта с горячим резервированием

Исходная информация ЭЛЕМЕНТОВ

$$\tau_{cp1} = 2\,500 \text{ ч}; \tau_{cp2} = 2\,000 \text{ ч}; \tau_{cp3} = 5\,000 \text{ ч};$$

$$\tau_{cp4} = 4\,000 \text{ ч};$$

$$\tau_{восст.} = 10 \text{ ч};$$

Рассчитать: $p_{об}(t)$ при наработке 1000 ч.

Решение:

$$\lambda_1 = 1/\tau_{cp1} = 1/2500 = 0.0004; \lambda_2 = 1/\tau_{cp2} = 1/2000 = 0.0005;$$

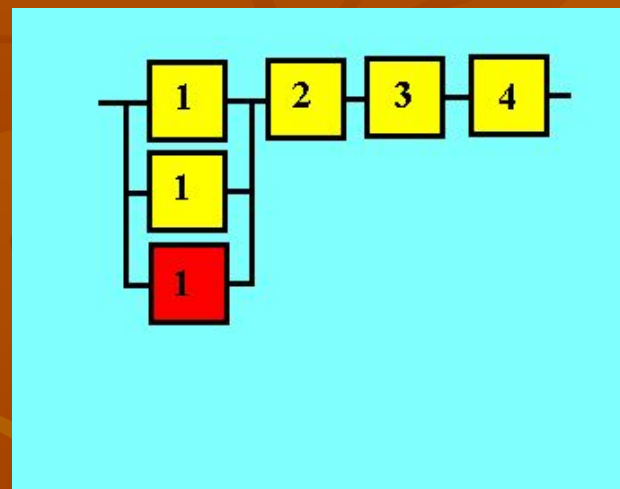
$$\lambda_3 = 1/\tau_{cp3} = 1/5000 = 0.0002; \lambda_4 = 1/\tau_{cp4} = 1/4000 = 0.00025;$$

$$p_1(1000) = \exp(-\lambda_1 \cdot 1000) = 0.670; p_2(1000) = \exp(-\lambda_2 \cdot 1000) = 0.606;$$

$$p_3(1000) = \exp(-\lambda_3 \cdot 1000) = 0.875; p_4(1000) = \exp(-\lambda_4 \cdot 1000) = 0.7787;$$

$$p_{рез} = \frac{1}{(1 + \lambda_1/\mu)^3} = \frac{1}{(1 + 0.0004/0.1)^3} = 0.988;$$

$$p_{об}(1000) = p_{рез} \cdot p_2(1000) \cdot p_3(1000) \cdot p_4(1000) = 0.273;$$



Ответ: $p_{об}(1000) = 0,273;$



Пример 3. Расчёт показателей надёжности энергоблока при холодном резервировании котлоагрегата

Исходная информация :

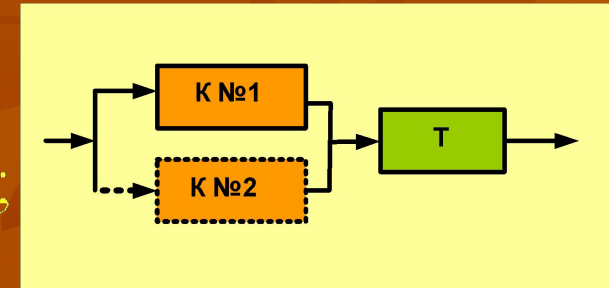
$$\lambda_{k1} = \lambda_{k2} = 0,0001; \quad \mu_{k1} = \mu_{k2} = 0,1; \quad p_t = 0,8;$$

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-сложных схему соединения элементов, выполняется с использованием логико-вероятностных моделей.



Благодарю за внимание!



THE END