

# Лекция № 5.

## Планирование, расчёт и корректировка сроков технического обслуживания





# Основные понятия и определения

***Техническое обслуживание*** – комплекс организационных и технических мероприятий по обеспечению работоспособного состояния объекта энергетики

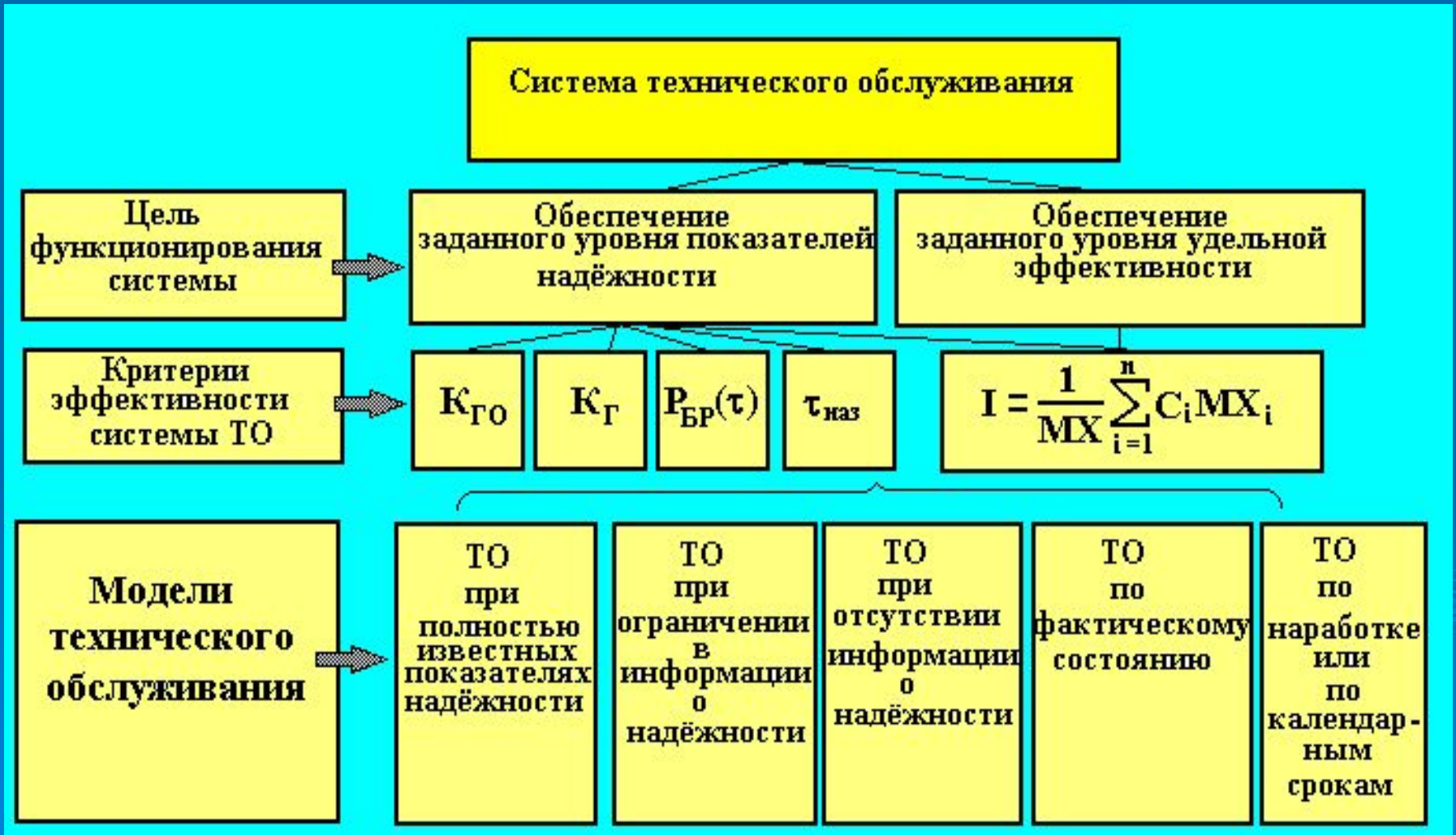
---

**ГОСТ 28001-83** Система технического обслуживания и ремонта техники. Основные положения Постановление Госстандарта СССР от 25.02.83 N 944.

**ГОСТ 19489-80** Система технического обслуживания и ремонта техники. Испытания на ремонтпригодность. Основные положения. Постановление Госстандарта России от 27.06.80 N 3147



# Структура системы технического обслуживания



# Расчёт оптимальных сроков ТО при известных показателях надёжности объекта

Граф состояний объекта в эксплуатации

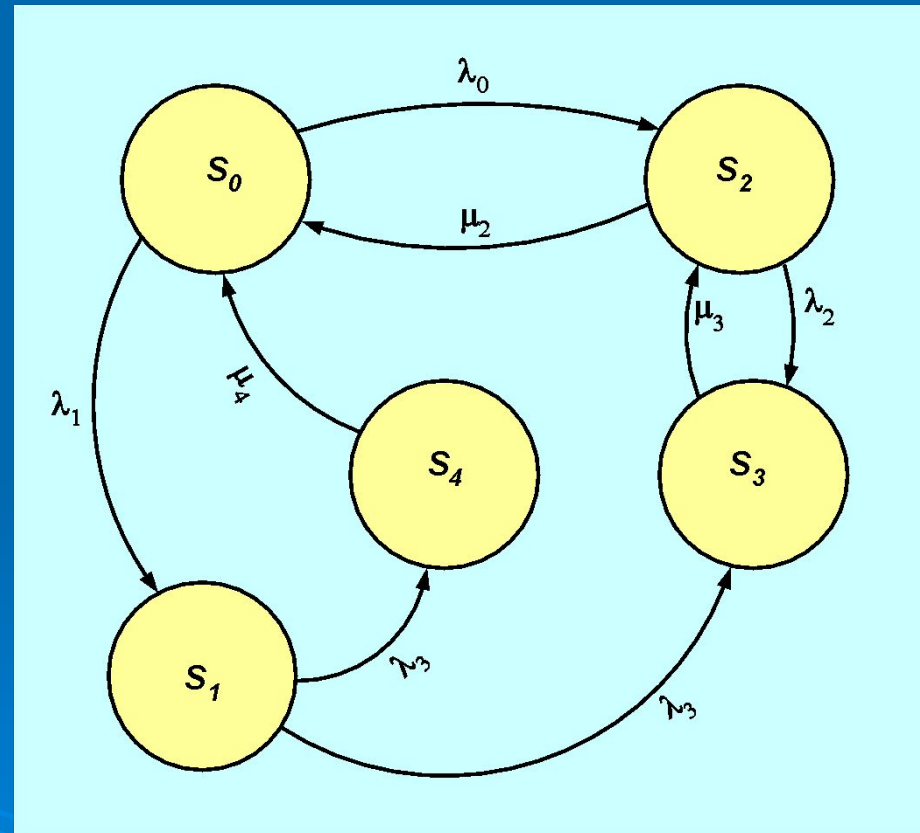
$S_0$  – работоспособное состояние;

$S_1$  – состояние скрытого отказа;

$S_2$  – состояние планового ТО;

$S_3$  – состояние планового аварийно-восстановительного ремонта;

$S_4$  – состояние внепланового аварийно-восстановительного ремонта.



# Система уравнений Колмогорова для определения вероятностей состояний объекта

Вектор начальных условий

$$p = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -(\lambda_0 + \lambda_1)p_0 + \mu_2 p_2 + \mu_4 p_4; \\ \frac{dp_1}{dt} = -2\lambda_3 p_1 + \lambda_1 p_0; \\ \frac{dp_2}{dt} = -(\lambda_2 + \mu_2)p_2 + \lambda_0 p_0 + \mu_3 p_3; \\ \frac{dp_3}{dt} = -\mu_3 p_3 + \lambda_2 p_2 + \lambda_3 p_1; \\ \frac{dp_4}{dt} = -\mu_4 p_4 + \lambda_3 p_1; \end{cases}$$



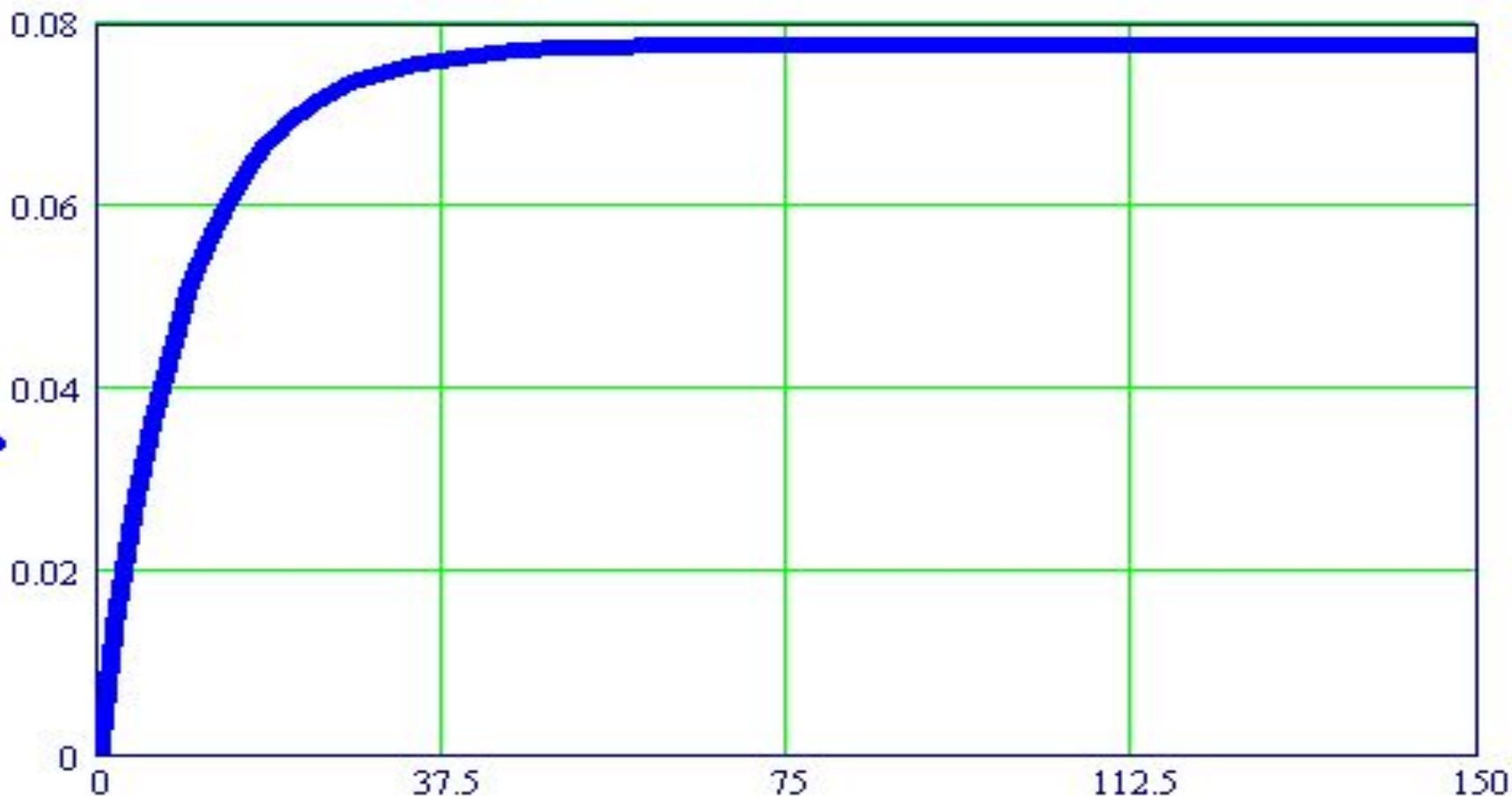
# Исходная информация, необходимая для решения системы уравнений

- Средняя наработка до отказа объекта при условии, что ТО не проводится;
- Среднее время диагностирования отказа объекта;
- Продолжительность планового профилактического ТО;
- Продолжительность планового аварийно-восстановительного ремонта;
- Продолжительность внепланового аварийно-восстановительного ремонта;
- Коэффициенты относительного ущерба при простое в результате отказа (аварии) объекта.

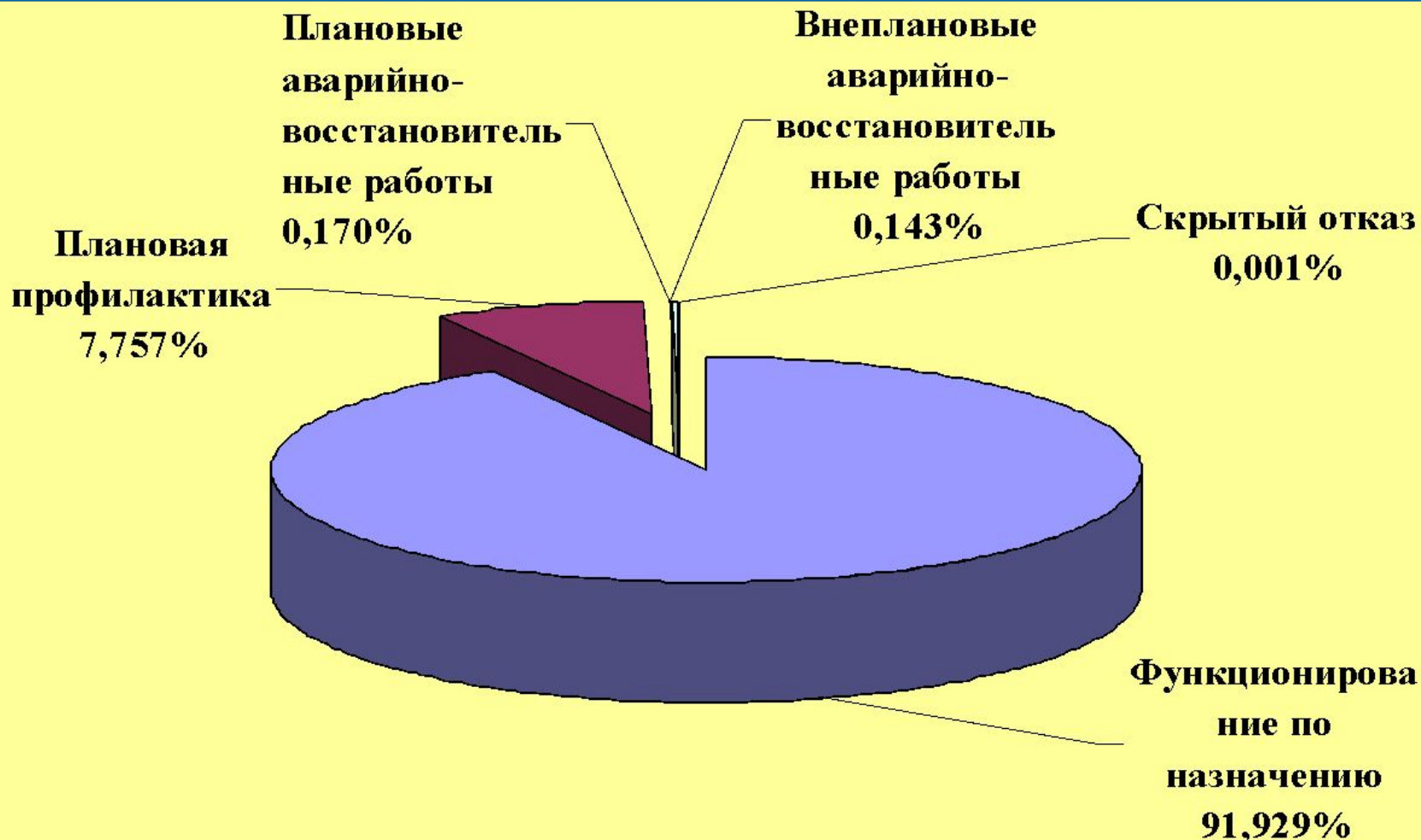


# Результат решения системы уравнений для газотурбинного энергоблока (ГТЭ)

**Вероятность нахождения ГТЭ в плановой профилактике**



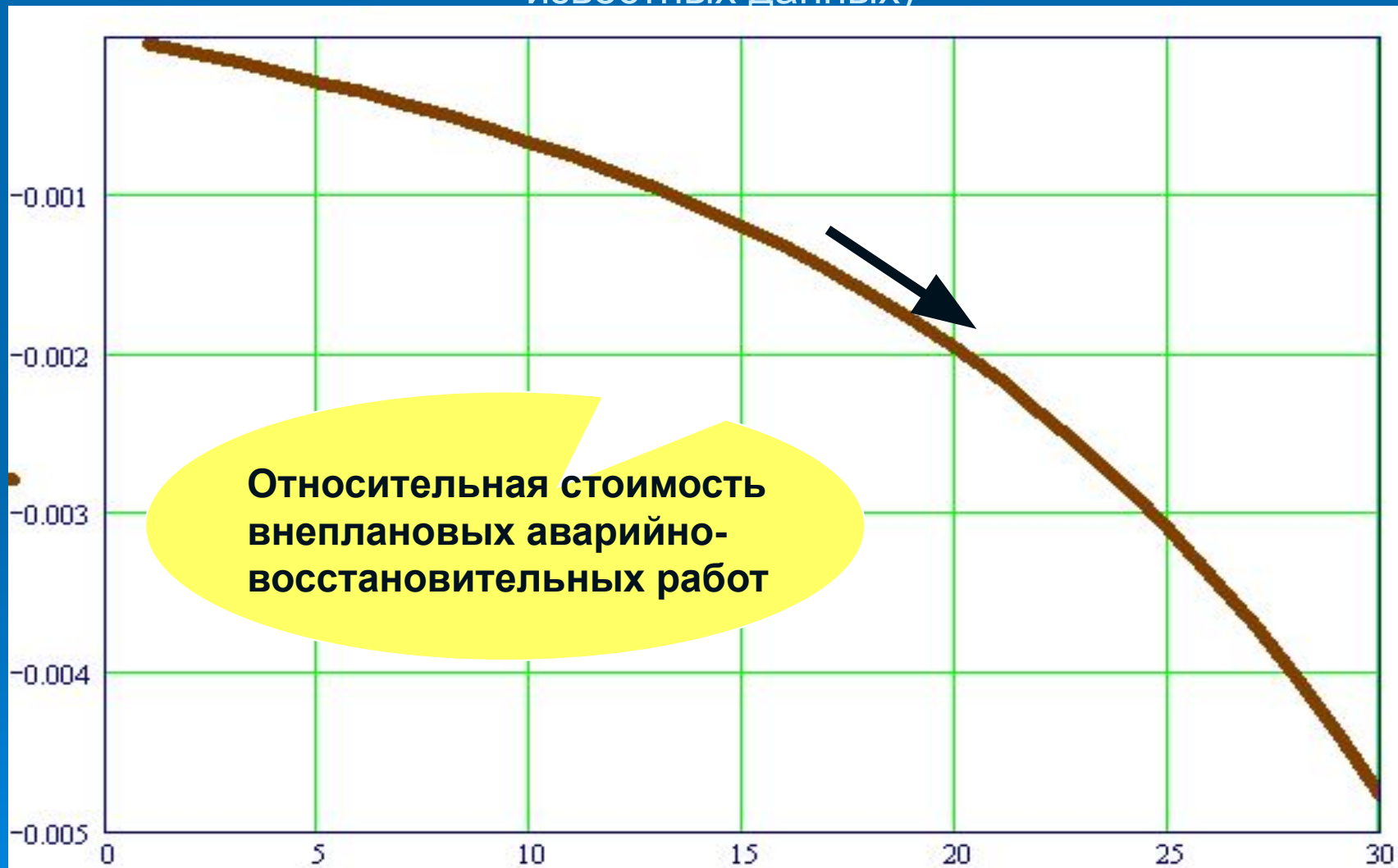
# Результат расчёта: Распределение времени пребывания объекта в различных состояниях в течение ресурса





Коэффициенты относительного ущерба при простое в результате отказа (аварии) объекта (принимаются исследователем как функция времени на основе ранее

известных данных)



# Расчёт относительной рентабельности функционирования объекта

(аддитивная функция стоимости отдельных операций )

$$r(T_{np}) = S(T_{np}) \frac{R}{T_{s_1}},$$

$$\text{где } S(T_{np}) = s_1(T_{np}) + s_2(T_{np}) + s_3(T_{np}) + s_4(T_{np}) + s_5(T_{np}).$$

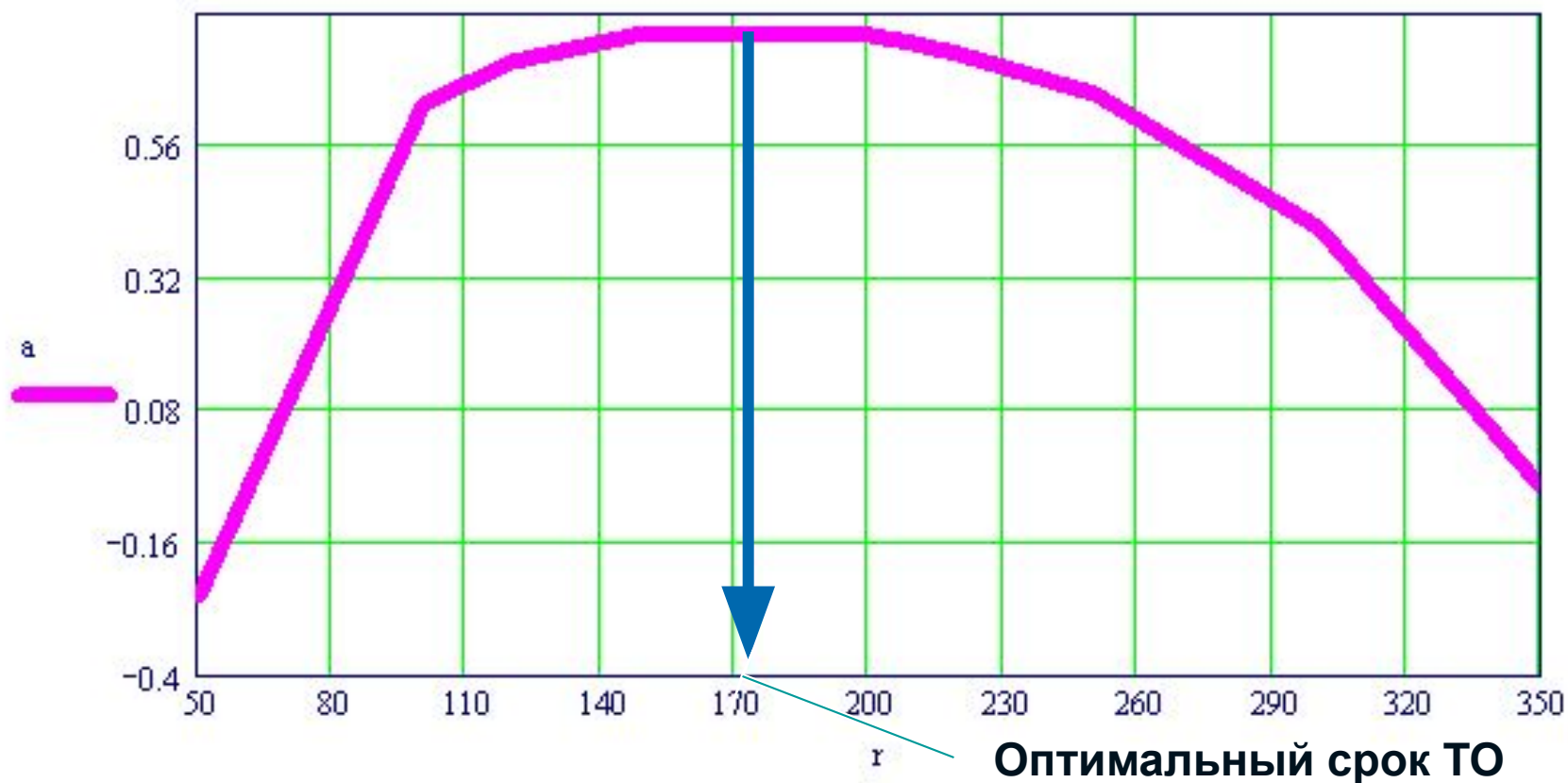
Примечание. Коэффициенты (или функции)  $S_i$  должны быть определены заранее.



# Пример: Расчёт срока профилактических работ для газотурбинного энергоблока (ГТЭ)



**График зависимости относительной рентабельности эксплуатации ГТЭ от назначенного срока регламентных работ**



# Модель расчёта срока профилактических работ

(вариант строго периодического ТО при частичном восстановлении работоспособности объекта)

$\lambda(t)$  — интенсивность отказов

параметр формы

$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$  — гамма-функция;

подынтегральная функция ТО за время назначенного ресурса

Результат расчёта:  $t_{ТО} = \frac{R}{n}$  — интервал периодического ТО,

обеспечивающего работоспособность объекта в течение всего ресурса;

$$R = t_{cp} \left( \frac{c_v}{(\beta - 1)c_m} \right)^{1/\beta},$$

где  $t_{cp}$  — средняя наработка на отказ;

$R$  — назначенный ресурс;

$\beta$  — параметр формы распределения Вейбулла — Гнеденко;

$c_v$  — стоимость частичного восстановления;

$c_m$  — стоимость полного восстановления;



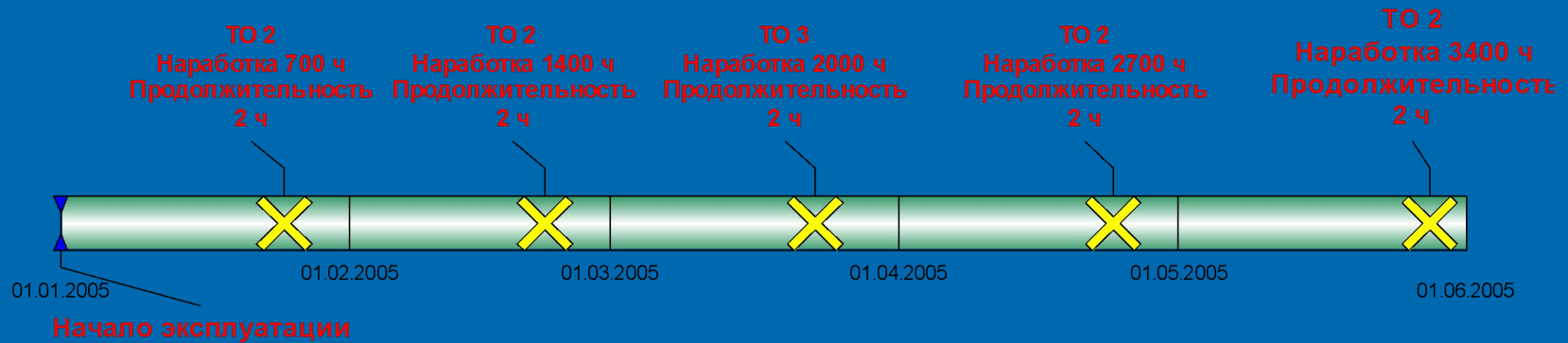
Примечание. Описание модели см. Ф. Байхельт, П. Франкен. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход. —М.: Радио и связь. 1988.



# Пример. Результат расчёта и сравнение существующего и оптимального планов ТО для энергетического объекта

## Существующий план-график ТО

$K_r = 0,9971$



## Оптимальный план-график ТО

$K_r = 0,9989$



# Приближённый метод корректировки сроков технического обслуживания

1. Экспоненциальный  
закон надёжности:

$$\tau_{проф} = -\frac{1}{\lambda} \ln p_{зад}$$

2. Произвольный закон  
надёжности:

$$\tau_{проф} = \int_0^{\tau_0} p(t) dt$$



# Пример. Корректировка сроков технического обслуживания

1. Экспоненциальный закон надёжности

**Дано:**  $p = 0,95$ ;  $\lambda = 0,001$ ;

**Найти:**  $\tau_{\text{проф}}$  – срок ТО, при котором будет обеспечена заданная вероятность безотказной работы.

**Решение:**

$$\tau_{\text{проф}} = -\frac{1}{\lambda} \ln p_{\text{зад}} = -\frac{1}{0,001} \ln 0,95 \approx 51 .$$

**Ответ:** При проведении ТО через 51 ч будет обеспечена безотказная работа объекта с вероятностью 0,95.



# Пример. Корректировка сроков технического обслуживания

(произвольный закон надёжности)

**Дано:**  $\tau_0 = 1000$  ч - срок планового технического обслуживания (ТО);  
 $t_{\text{ср}} = 500$ , ч;  $\sigma = 100$ , ч при нормальном законе надёжности.

**Найти:**  $t_{\text{проф}}$  – срок планового ТО с учётом фактического закона надёжности.

**Решение:**

$$p(\tau) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{\text{ср}} - \tau)^2}{\sigma^2}};$$

$$t_{\text{проф}} = \int_0^{1000} p(\tau) d\tau = \int_0^{1000} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}100} e^{-\frac{(500 - \tau)^2}{100^2}} \right] d\tau = 500;$$

**Ответ:** ТО следует проводить через 500 ч .





# Оценка периодичности технического обслуживания по эквивалентной наработке

## Принципы подсчёта эквивалентной наработки:

- 1 ч работы на расчётном режиме равен одному эквивалентному часу;
- 1 ч работы на форсированном режиме равен  $n_1$  эквивалентных часов;
- 1 запуск равен  $n_2$  эквивалентных часов;
- 1 ускоренный запуск равен  $n_3$  эквивалентных часов;
- 1 аварийная остановка соответствует  $n_4$  эквивалентных часов;

## Расчёт эквивалентной наработки

$$T_{\text{экв.}} = t_{\text{реж.}} + t_{\text{форс.}} n_1 + z_{\text{зап.}} n_2 + z_{\text{ф\_зап.}} n_3 + z_{\text{ав}} n_4;$$

# Выводы

1. Расчёт оптимальных сроков профилактических работ для обеспечения максимальной относительной рентабельности объекта возможен при наличии информации о надёжности энергоблока и стоимости восстановительных работ.
2. Для расчёта должна быть создана математическая модель, однозначно определяющая экстремум функции относительной рентабельности объекта.
3. Приближённые расчёты можно выполнять по упрощённой модели. При этом результаты получаются с неопределённой величиной погрешности.



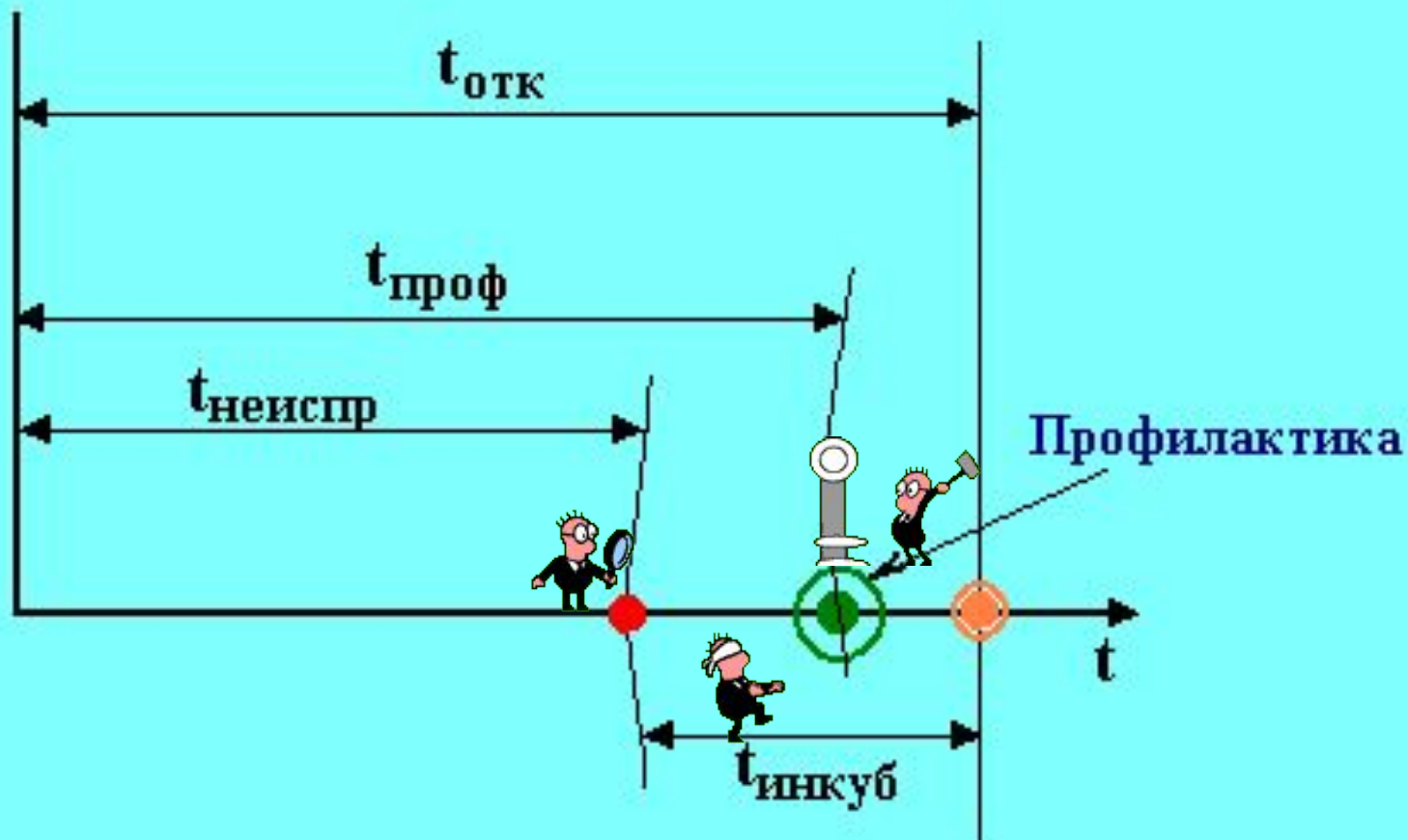
# Корректировка сроков профилактических работ

Методика корректировки сроков профилактических работ позволяет уточнить планируемые сроки при следующих допущениях:

- в объекте наблюдаются только постепенные отказы;
- законы распределения наработки до отказа и времени индикации (обнаружения) отказа известны и не меняются с увеличением наработки объекта.



# Модель определения сроков оптимальной профилактики при постепенных отказах





# Корректировка сроков технического обслуживания

1. Экспоненциальный закон надёжности:

$$\tau_{проф} = -\frac{1}{\lambda} \ln p_{зад}$$

2. Произвольный закон надёжности:

$$\tau_{проф} = \int_0^{\tau_0} p(t) dt$$



## Пример №1.

# Корректировка сроков технического обслуживания

### 1. Экспоненциальный закон надёжности

**Дано:**  $p = 0,95$ ;  $\lambda = 0,001$ ;

**Найти:**  $\tau_{\text{проф}}$  – срок ТО, при котором будет обеспечена заданная вероятность безотказной работы.

**Решение:**

$$\tau_{\text{проф}} = -\frac{1}{\lambda} \ln p_{\text{зад}} = -\frac{1}{0,001} \ln 0.95 \approx 51 .$$

**Ответ:** При проведении ТО через 51 ч будет обеспечена безотказная работа объекта с вероятностью 0,95.

# Пример №2

## корректировки сроков технического обслуживания

(произвольный закон надёжности)

**Дано:**  $\tau_0 = 1000$  ч - срок планового ТО;  
 $t_{\text{ср}} = 500$ , ч;  $\sigma = 100$ , ч при нормальном законе надёжности.

**Найти:**  $t_{\text{проф}}$  – срок планового ТО с учётом фактического закона надёжности.

**Решение:**

$$p(\tau) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{\text{ср}} - \tau)^2}{\sigma^2}};$$

$$t_{\text{проф}} = \int_0^{1000} p(\tau) d\tau = \int_0^{1000} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}100} e^{-\frac{(500 - \tau)^2}{100^2}} \right] d\tau = 500;$$

**Ответ:** ТО следует проводить через 500 ч .



# Заключение

1. Расчёт сроков выполнения профилактических работ представляет собой сложную задачу оптимизации функции многих параметров, часть из которых является стохастическими.
2. Исходная информация для расчётов во многих случаях может быть получена только при накоплении опыта эксплуатации однотипных объектов.
3. Использование математических моделей для расчёта оптимальных сроков профилактики требует информации, которая на стадии проектирования новых объектов часто неизвестна или может быть получена с определёнными погрешностями.





*Благодарю за внимание!*

