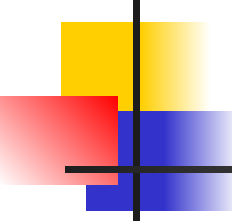


## 1.2.2 Надёжность восстанавливаемых объектов.

---

**Восстановление** – событие, заключающееся в повышении уровня работоспособности объекта или относительного уровня его функционирования.



В энергетике более или  
менее крупные объекты  
подвергаются

---

периодическим ремонтам  
или заменам

(восстановлениям). Тогда  
появляются циклы: работа  
– восстановление ( $t_p, t_v$ ).

(рис. 1.2.)

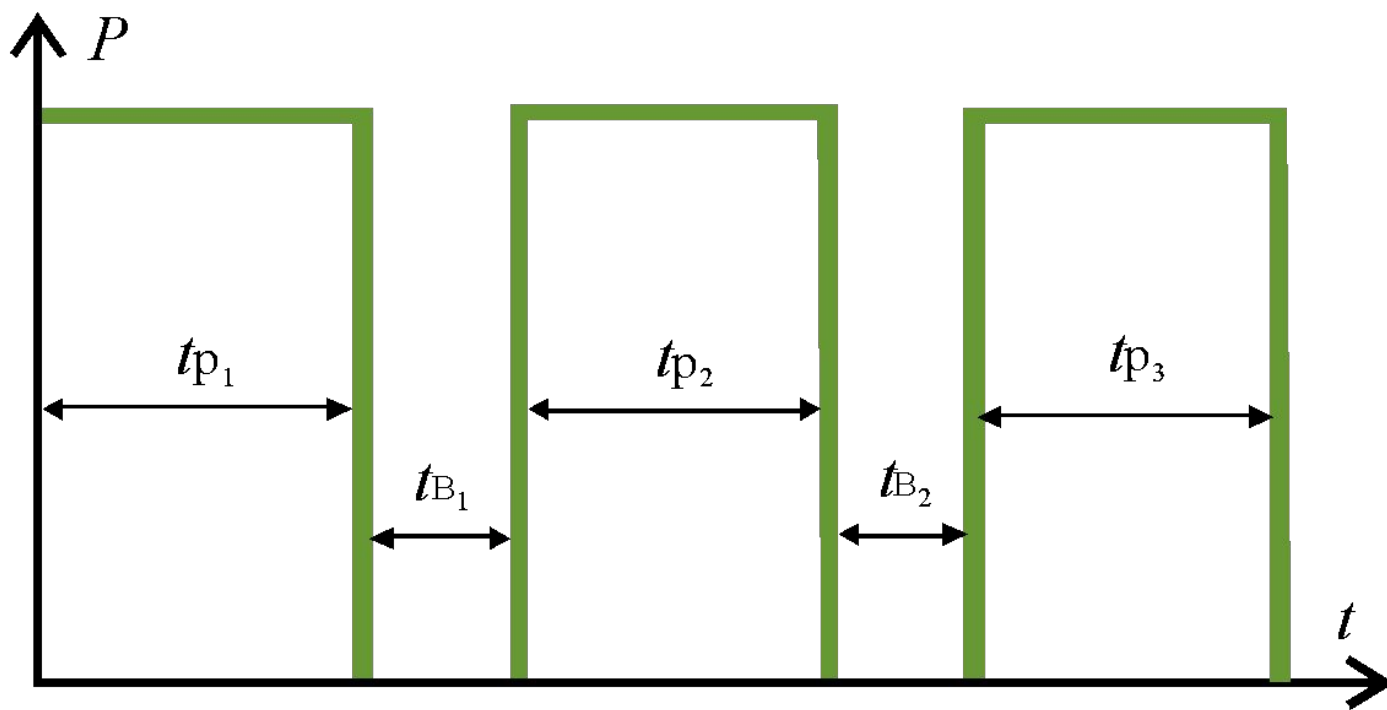
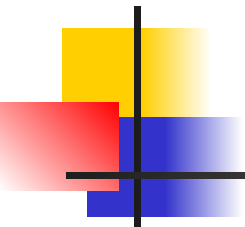
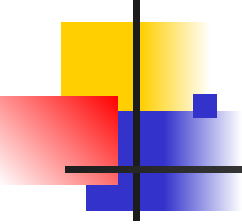
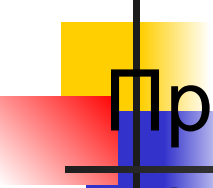


Рис. 1.2.



Внутри каждого производственного цикла поведение объекта теоретически можно уподобить поведению невосстанавливаемого объекта. Тогда безотказность на каждом цикле характеризуется: как

- $P_{ок}(t_k)$
- – вероятность безотказной работы за время  $t_k$  от начала цикла.



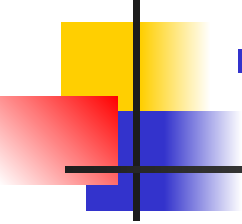
Практически после некоторого начального периода приработки, можно полагать, что вид функции интенсивности отказов начального периода зависит от некоторого

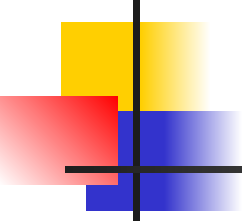
$P_{\text{отказ}}(t)$

Практически

не зависит от  $k$  и одинаков для каждого цикла. Каждому циклу тогда соответствует некоторая интенсивность отказов  $\lambda_k(t_k)$



- 
- Если исключить из рассмотрения время восстановления на каждом цикле (объект в этот период не изнашивается), то отказы формируют поток. Средний параметр потока отказов (частота отказов) определяется как отношение математического ожидания количества отказов за интервал времени к длине этого интервала:



$$W(t_1, t_2) = \frac{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)}{t_2 - t_1}$$

$\Omega(t)$  – среднее количество отказов за время  $t$ , или

$$W(t_1, t_2) = \frac{\sum_i^N m_i(t_2) - \sum_i^N m_i(t_1)}{N(t_2 - t_1)}$$

где  $m$  – число отказов  $i$ -того объекта до времени  $t_1, t_2$ ,

$N$  – число испытываемых объектов.



приобретают вид:

Поскольку второй отказ объекта может произойти только после его восстановления, то показатели приобретают вид:

$$\lambda_k(t_k) = \lambda = \text{const}$$

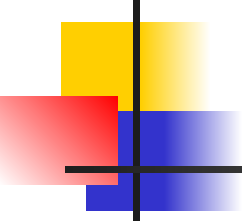
$$P_{0k}(t_k) = P_0(t) = e^{-\lambda t}$$

$$Q_k(t_k) = Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\Omega(t) = \lambda t, W(t_1, t_2) = W(t) = \lambda$$

$$\bar{t}_{OH} = \bar{t}_0$$





## 1.2.3 Показатели долговечности объекта.

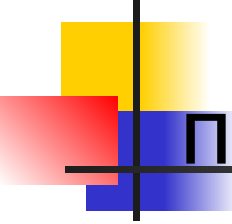
---

Основные характеристики  
долговечности объекта: средний  
срок службы –  $T_c$  и средний ресурс –  
 $T_p$ .

наступления предельного состояния.

Для восстанавливаемого объекта **средний срок службы** складывается из чередующихся периодов работы и восстановления и представляет собой среднюю календарную продолжительность эксплуатации объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после предупредительного ремонта до наступления предельного состояния.

$$T_{cp} = \sum T_{экс} + \sum T_{вос}$$



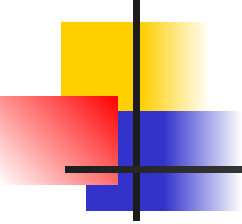
**Средний ресурс объекта**  
**представляет собой среднюю**  
**наработку от начала эксплуатации**  
**до наступления предельного**  
**состояния.** Для  
невосстанавливаемых объектов эти  
характеристики совпадают и  
определяются средней наработкой  
до отказа  $t_{o.n.}$

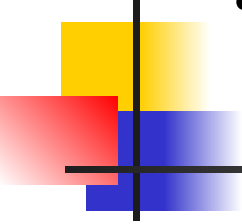


## 1.2.4 Ремонтпригодность

---

- Количественно ремонтпригодность может быть определена только для восстанавливаемых объектов. При этом следует различать следующие принципиально разные виды ремонтов: аварийно-восстановительные и планово-предупредительные.

- 
- При аварийно-восстановительных ремонтах время восстановления  $t_v$  складывается из:
    - времени обнаружения повреждения,
    - времени устранения неисправности.
  - Они зависят от ряда случайных факторов и оцениваются

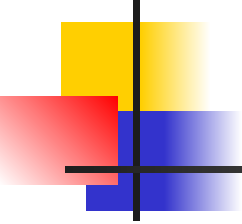
- 
- вероятностью восстановления за заданное время  $t$ :
- 

$$G_a(t) \stackrel{\text{K}}{=} P(t < t)$$

(23)

- интенсивностью восстановления:

$$\mu(t) = \frac{1}{1 - G_a(t)} \times \frac{dG_a(t)}{dt}$$



---

В отличие от аварийных планово-предупредительные ремонты проводятся с определенной <sup>(24)</sup>заблаговременностью, а их длительность заведомо установлена известным перечнем работ. Относительная длительность предупредительного ремонта

$$\tau_{\text{п}} = W_n \cdot t$$

# 1.2.5 Характеристики восстановления

Средняя продолжительность от начала до окончания восстановления работоспособности при аварийном ремонте:

$$\bar{t}_v = \int_0^{\infty} t \frac{dGa(t)}{dt} = \int_0^{\infty} t dGa(t)$$



постоянная величина

Если интенсивность восстановления

Если интенсивность восстановления

постоянная величина  $\underline{\mu}(t) = \mu = const$

закон

$$Ga(t)$$

экспоненциальный,

$$Ga(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

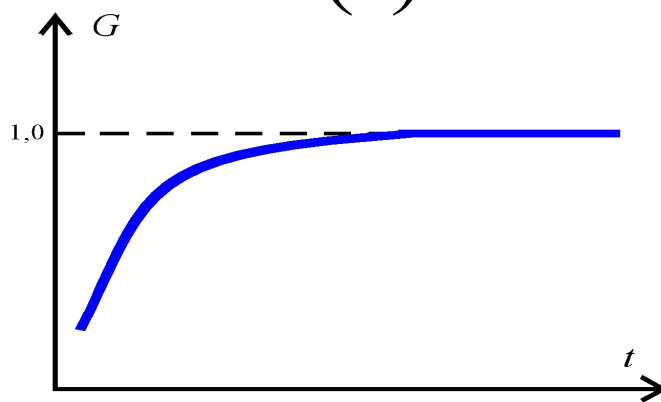


Рис. 3.3. Зависимость вероятности восстановления от времени

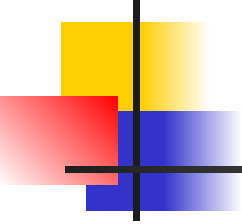
Тогда среднее время восстановления

определяется:

$$\bar{t}_a$$

$$\bar{t}_v = \frac{1}{\mu}$$

( это наиболее простой и частный случай,  
2 но он имеет большое практическое  
7 значение, поскольку реальный закон  
) времени восстановления многих  
энергетических объектов близок к  
экспоненциальному.



## 1.2.6. Комплексные показатели надёжности.

---

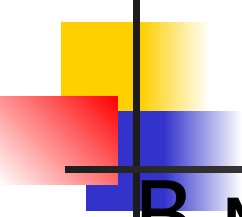
- **Коэффициент готовности** представляет собой вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование его по назначению не предусматривается.

распределению:

Практическое значение имеет подчинение экспоненциальному распределению времени безотказной работы и восстановления на каждом цикле выражение  $K_T$  для случаев, когда интервалы времени безотказной работы и восстановления на каждом цикле подчиняются экспоненциальному распределению:

$$K_T(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}$$

объекта.



---

В момент времени, относительно удаленный от начала работы объекта:

$$\kappa_{\Gamma} = \lim_{t \rightarrow \infty} \kappa_{\Gamma}(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$



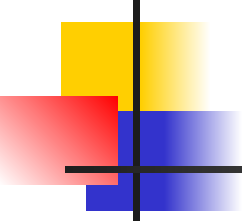
Учитывая, что  $\mu = \frac{1}{t_{\text{в}}}$  а  $\lambda = \frac{1}{t_0}$

---

. Коэффициент готовности равен:

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{t}_0}{(\bar{t}_0 - \bar{t}_B)} \quad (31)$$





Коэффициент  
(аварийного  
вычисляется  
образом:

неготовности  
состояния)  
следующим

$$q(t) = 1 - \Gamma(\quad)$$

# Коэффициент технического использования.

$K_T$  и  $K_{ТИ}$  связаны между собой соотношением: 
$$K_T = \frac{K_{ТИ}}{1 - \tau}$$

где:  $\tau$  — относительная длительность нахождения во всех видах ремонта всех объектов.

Среднее время наработки вычисляется

$$\bar{K}_H = T_{ТИ} \cdot \text{эксн}$$



интервала:

безотказно в течение заданного

**Коэффициент оперативной**

**готовности** представляет собой

вероятность того, что объект находится в

режиме, можно ожидать, в котором он

работоспособным, в произвольный

момент времени, независимо от того

момента, работает безотказно в течение

заданного интервала:

$$K_{огт} = P_{г(t)} \cdot P_{0(раб)} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-\lambda t_{раб}}$$

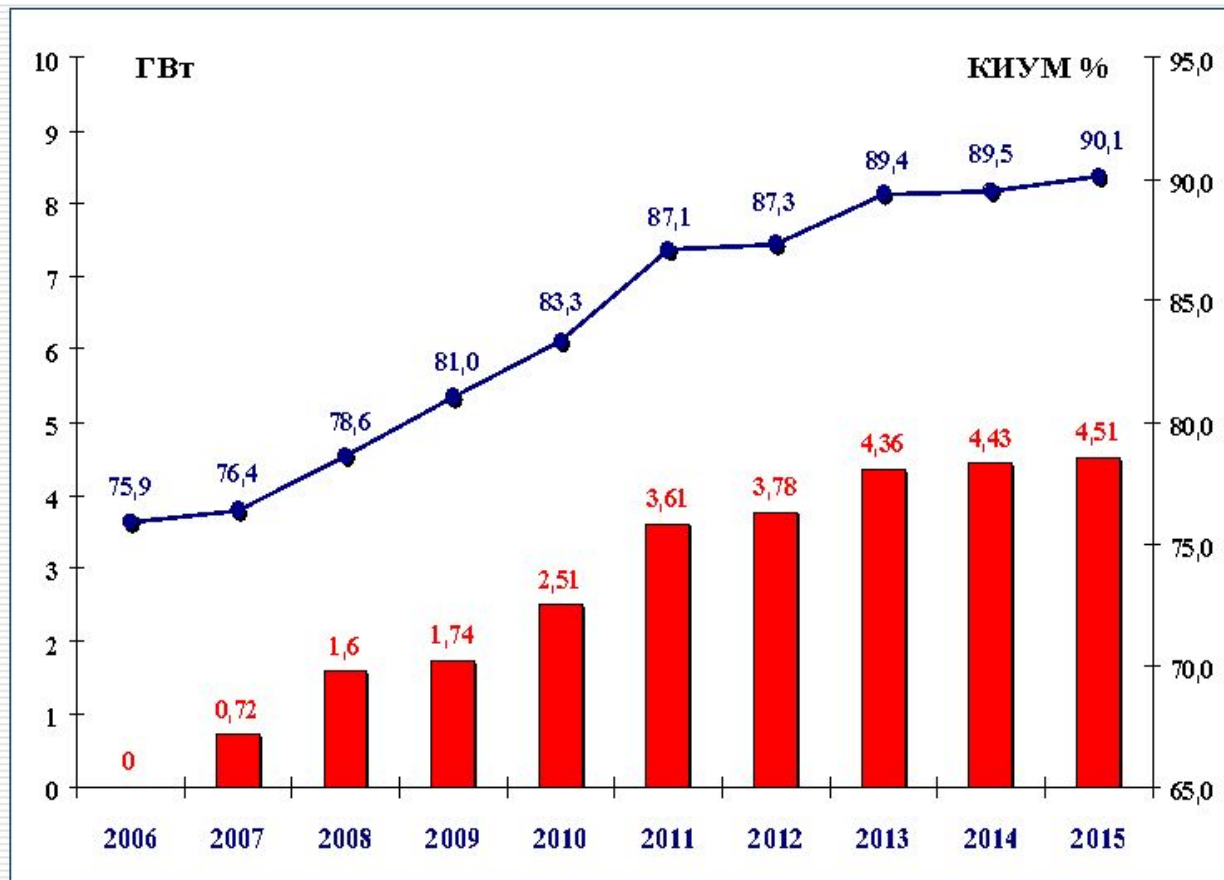
# Коэффициент использования установленной мощности.



---

- Отношение математического ожидания рабочей мощности (производительности) объекта к его установленной мощности (производительности) за заданный промежуток времени.

# ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ И КИУМ



**Стоимость программы: 19,1 млрд. руб.**  
**Эффективность мероприятий: 160 долларов США за кВт уст. мощности**

# Экономический ущерб от отказа.

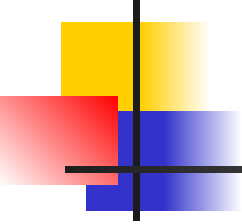
Ущерб при каждом отказе может состоять из двух составляющих:

$$Y = y_{op}D + y_{oa}\Delta A$$

где:  $y_{op}$ ,  $y_{oa}$  – удельные ущербы из-за недоотпуска мощности и электроэнергии соответственно.

За период  $T$ :

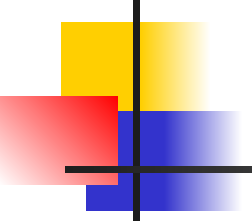
$$Y = y_{op}T \cdot \sum w_i D_i + y_{oa}\Delta A$$



Если отказ приводит не к  
полному погашению, а  
частичному, то ущерб  
определяют так:

$$Y = y_{op} w T \sum_i (p_i - p_0) \Delta t + \sum Y_{oa} (A_i - A_0)$$



- 
- К сожалению, в зависимости от условий и обстоятельств отказа последствия могут весьма различаться. Оценка удельных ущербов «в среднем» в этом случае становится приближенной. Поэтому использование ущерба от отказов в серьезных экономических расчетах ограничено.