



Чиченев Николай Алексеевич

**Профессор
НИТУ «МИСиС»**

**Курс «Техническое обслуживание и ремонт
металлургического оборудования»**

**Занятие 4. «Оценка предельного состояния
металлургических машин»**

Занятие 4. «Оценка предельного состояния металлургических машин»

1. Оценка предельного состояния
2. Критерии предельного износа
3. Предельные износы по условию прочности
4. Стратегии восстановления
5. Оценка эффективности принимаемых решений при техническом обслуживании



Вопросы входного контроля

1. Что понимается под предельным состоянием?
2. Какие технические характеристики называют «пассивными»?
3. Назовите критерии предельно допустимого состояния?
4. Как связаны между собой предельно допустимые значения для выходного параметра X_{\max} с предельно допустимыми значениями U_{\max} для повреждений?
5. К каким последствиям приводит предельный износ сопряжения?
6. Что понимается под стратегией восстановления?
7. Что понимается под ремонтпригодностью?
8. Какие показатели ремонтпригодности машин используются в процессе их эксплуатации?

Оценка предельного состояния

Предельное состояние –

состояние изделия, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Технические характеристики машины

- «*пассивные*» показатели, которые не изменяются в процессе эксплуатации, поскольку характеризуют конструктивные, технологические и другие особенности машины (габариты, масса, емкость, типы и марки комплектующих элементов и т.п.);
- «*активные*» показатели, которые изменяются в процессе использования машины в зависимости от режима и условий её эксплуатации (мощность, точность, производительность, уровень шума, давление, расход топлива и т. п.). Эти характеристики и их деградация в процессе эксплуатации машины являются основным объектом рассмотрения в проблеме надежности.

Выходные параметры машины –

числовые показатели ее технических характеристик, которые определяют состояние машины и ее возможности по выполнению заданных функций.

Оценка предельного состояния (продолжение)

При установлении технических характеристик машины необходимо учитывать следующие основные факторы:

- *эффективность работы машины*, которая определяется наибольшими достигнутыми значениями скоростей, нагрузок, температур, точности, производительности и других эксплуатационных показателей. Они определяют уровень развития машины, ее конкурентоспособность и составляют основное содержание технических условий (ТУ);
- *сохранение технических показателей машины* в заданных пределах в течение всего период эксплуатации, т.е. обеспечение параметрической надежности - одно из основных требований к машине;
- *вредное влияние машины на окружающую среду* может накладывать дополнительные ограничения на ее технические характеристики. Поэтому устанавливаются ограничения на шум машины, уровень вибрации, температуру и другие показатели.

Оценка предельного состояния (продолжение)

В общем виде каждую техническую характеристику машины можно представить как траекторию (функцию) некоторого показателя X в зависимости от времени, пути или специального показателя q , т.е. $X = F(q)$, а числовые характеристики этой траектории и будут являться выходными параметрами машины.

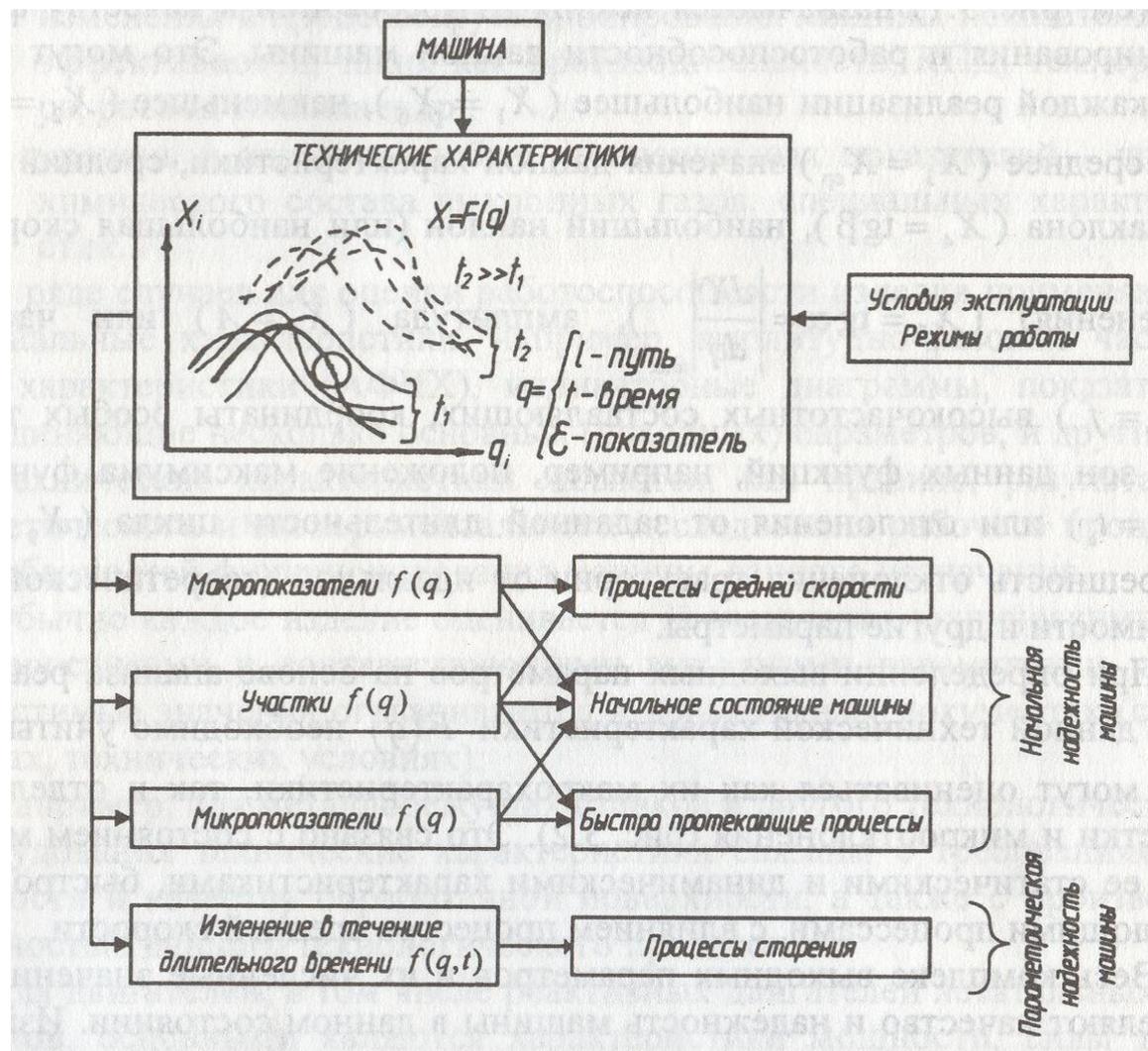
Функциями, выражающими данные зависимости, могут быть:

- траектории перемещения машины или ее рабочих органов, определяющие точность функционирования, или другие показатели работоспособности;
- смещения (линейные, угловые) отдельных элементов машины в результате силовых или температурных деформаций, включая результаты вибрационных процессов;
- временные зависимости для сил, давлений, крутящих моментов, передаваемой мощности и других параметров, характеризующих динамическую нагруженность системы;
- кинематические параметры машины - скорости, частоты вращения, ускорения и их изменение в течение цикла;
- изменения в процессе функционирования машины показателей ее эффективности, таких как производительность, КПД, температура, расход электроэнергии и др.;
- уровень и характер любых установленных показателей - шума, химического состава выхлопных газов, специальных характеристик.

Оценка предельного состояния (продолжение)

Выходные параметры технической характеристики машины

Изменение технических характеристик машины под влиянием процессов старения при ее длительном использовании определяет надежность машины как функцию времени и, в первую очередь, вероятность ее безотказной работы $P(t)$ и соответствующий гамма-процентный ресурс $t = T_\gamma$.



Оценка предельного состояния (продолжение)

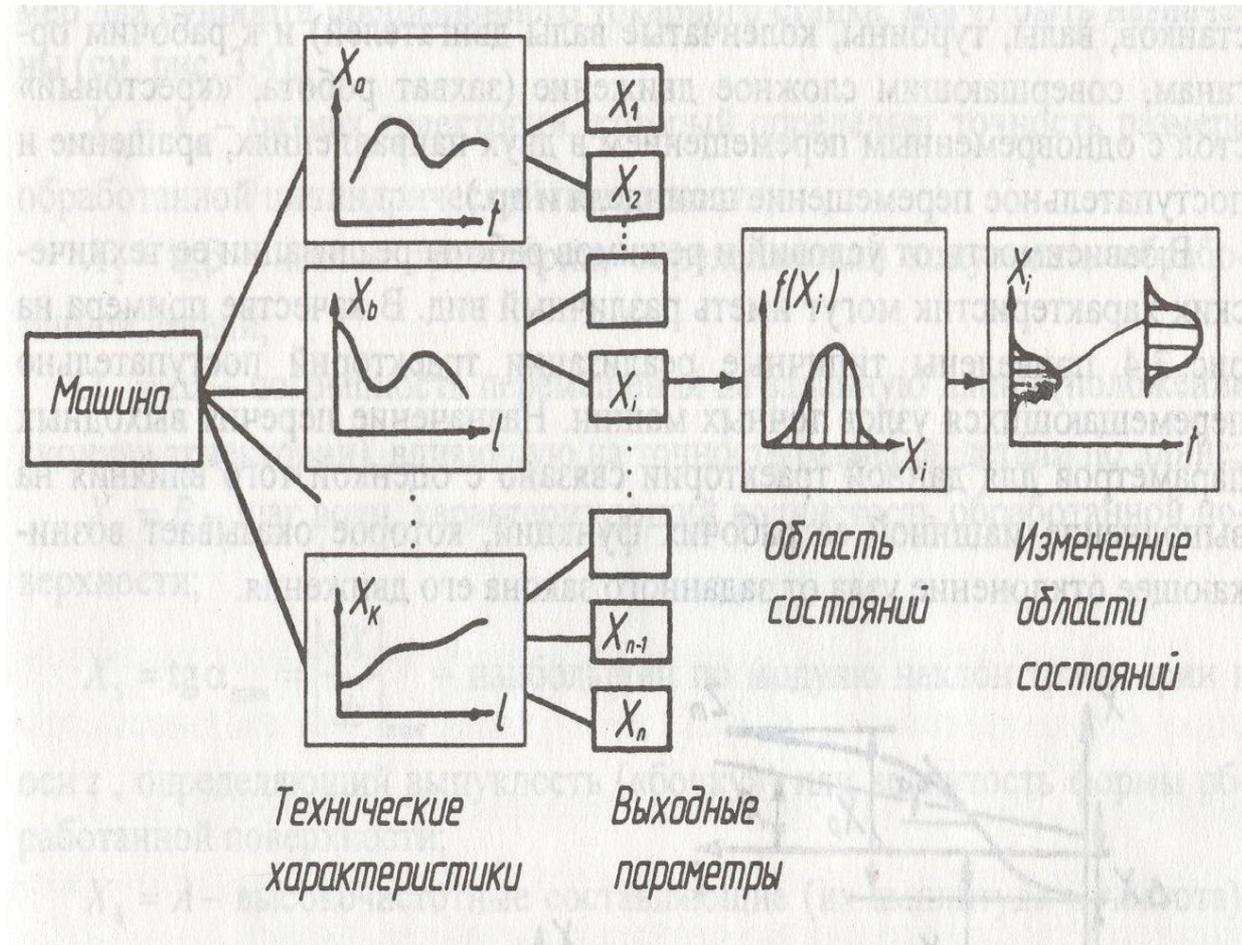


Схема формирования области состояний выходных параметров

X_a, X_b, \dots, X_k - технические характеристики машины;
 X_1, X_2, \dots, X_n - выходные параметры машины ($n > k$).

Критерии предельного износа

Предельно допустимое состояние может быть установлено

- для степени повреждения изделия U_{\max} ,
- для выходного параметра X_{\max} .

Возможны три основных случая взаимосвязи X_{\max} и U_{\max} :

1) выходной параметр определяет один из видов повреждения

$$X_{\max} = K \cdot U_{\max};$$

2) выходной параметр определяется суммарным повреждением элементов с учетом их влияния через некоторый весовой коэффициент

$$X_{\max} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot U_{i,\max}$$

3) выходной параметр связан сложной функциональной зависимостью с предельным повреждением элементов

$$X_{\max} = f(U_{1,\max}, U_{1,\max}, \dots, U_{n,\max})$$

Критерии предельного износа

Основные группы критериев предельного состояния

1) В результате износа или других повреждений происходит скачкообразное изменение состояния изделия, и оно перестает функционировать. Например, потеря герметичности резервуаров при коррозии, поломка детали из-за хрупкого разрушения, заклинивание механизма при его износе и т.п. В этом случае, как правило, трудно судить по выходному параметру о близости к предельному состоянию, и поэтому более целесообразно регламентировать максимально допустимую степень повреждения изделия или его элементов U_{\max} .

2) В результате процесса повреждения имеется зона интенсивного возрастания выходных параметров изделия (повышение температуры, рост вибраций, нарастание шума и т.п.). В данном случае необходимо установить такие значения выходных параметров X_{\max} , которые соответствуют началу интенсификации процесса потери работоспособности, даже если эти параметры еще находятся в допустимых пределах.

3) Процесс повреждений не имеет экстремальных зон, и выходные параметры определяются техническими условиями, установленными на данное изделие. Этот случай характерен для нормальных условий эксплуатации изделия.

Критерии предельного износа

Оценка влияния износа сопряжений на выходные параметры машины состоит из двух основных этапов:

- определение характеристик изнашивающихся сопряжений;
- расчет влияния износа сопряжений на изменение выходных параметров машины, т.е. установление зависимости X_{\max} от U_{\max}

При оценке влияния износа на выходные параметры машины, нужно учитывать следующее.

- 1) В любой машине имеется большое число различных по конструкции пар трения, расчет которых на износ проводится по соответствующей методике.
- 2) Износ каждого сопряжения по-своему влияет на выходные параметры машины. Степень и характер этого влияния зависят от функционального назначения механизмов и пар трения
- 3) Допустимый износ тех пар трения, которые оказывают влияние на выходные параметры машины, устанавливается, исходя из требований к этим параметрам.

Критерии предельного износа (продолжение)

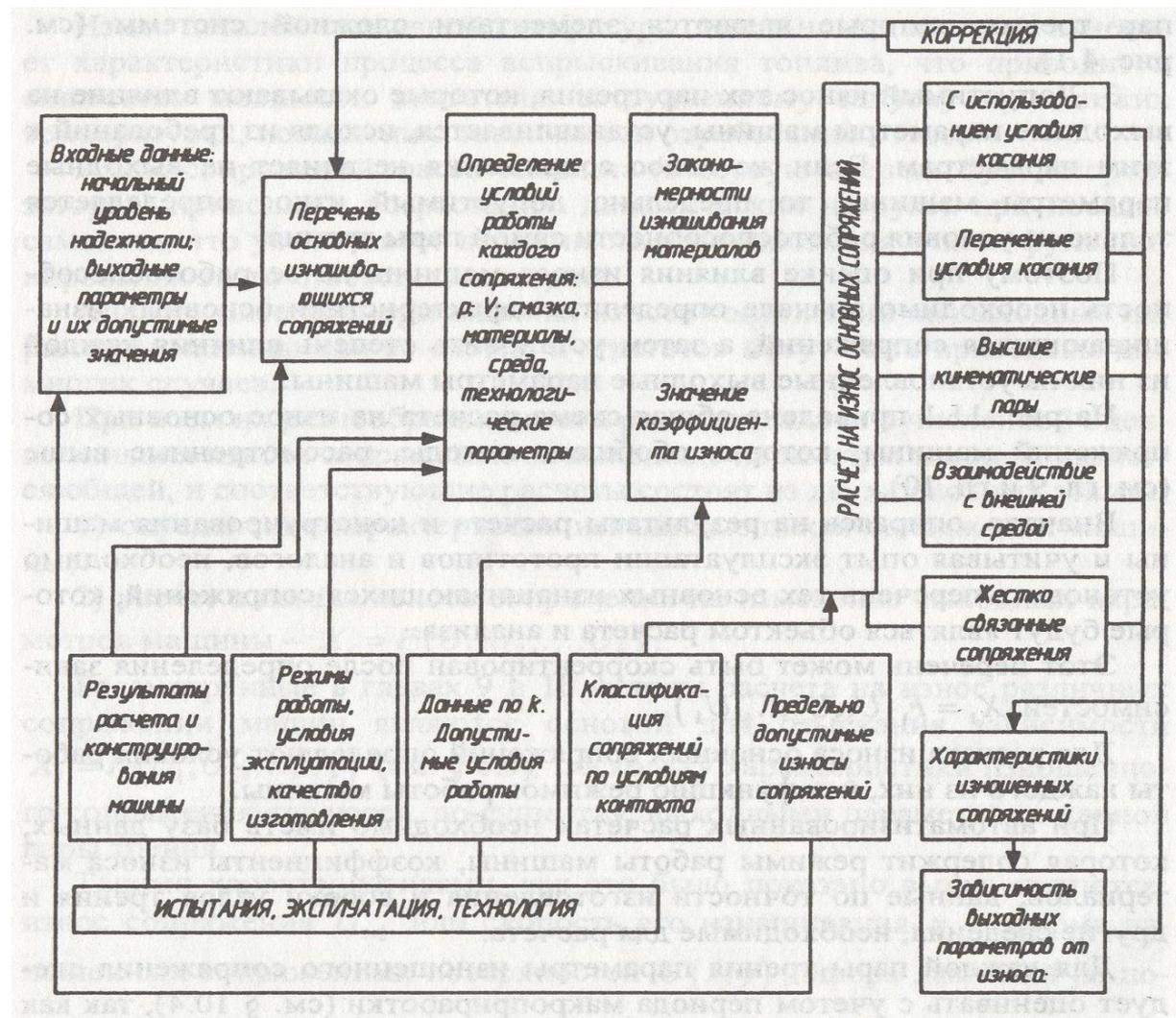
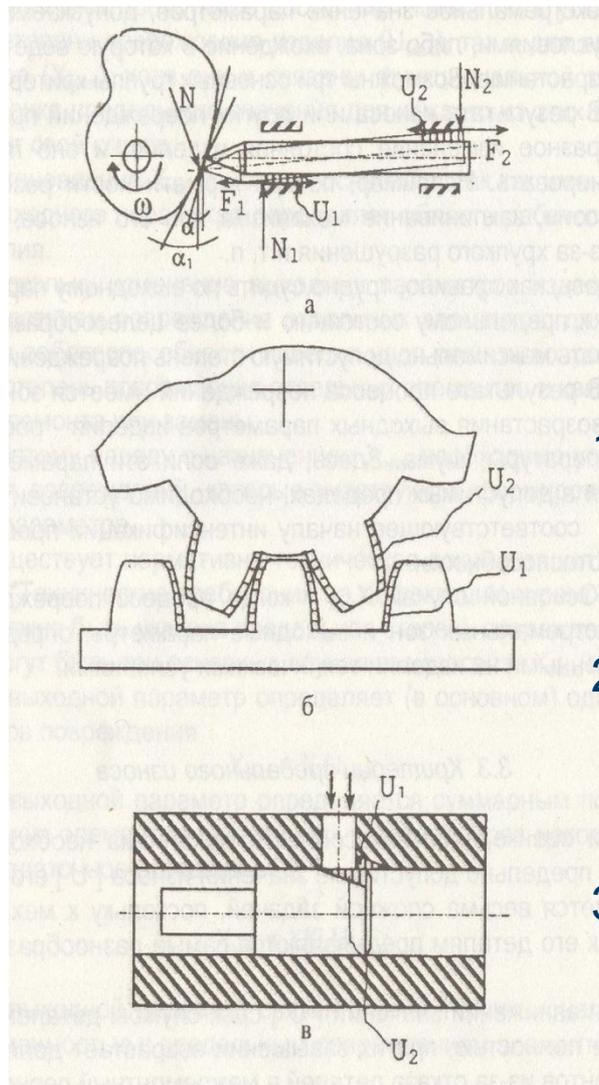


Схема расчета на износ основных сопряжений машины

Критерии предельного износа (продолжение)



Примеры предельного износа сопряжений:

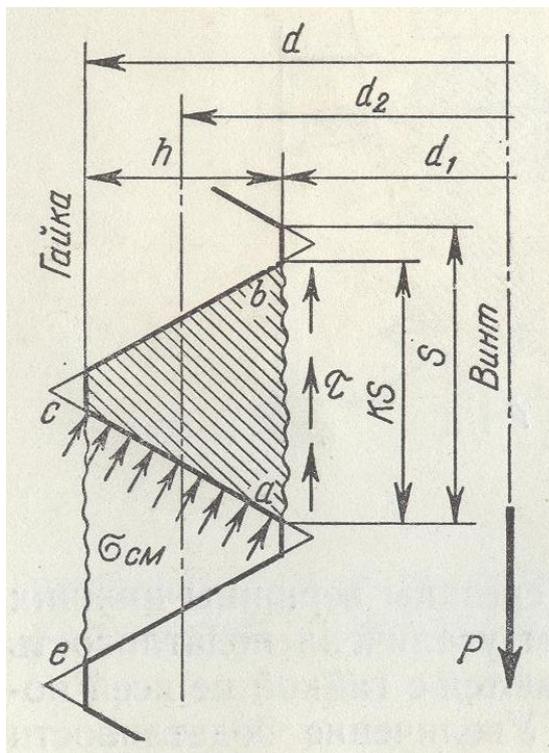
а - толкатель кулачкового механизма,
б – зубья реечной передачи,
в – плунжера гидравлической системы.

Применение основных критериев предельного состояния (слайд 10)

- 1) Износ сопряжения может привести к потере работоспособности самой кинематической пары (а – износ направляющих и кулачка кулачкового механизма).
- 2) Износ сопряжения лимитируется влиянием последствий изнашивания на работоспособность других систем и механизмов (б – износ зубьев реверсивной реечной передачи).
- 3) Износ сопряжения влияет на изменение выходных параметров машины (в – износ плунжерной пары гидросистемы).

Предельные износы по условию прочности

Соединение винт-гайка.



При проектировании соединения винт-гайка размеры гайки находят из расчета на срез

$$\tau_B = \frac{F_{ср}}{A_{ср}} = \frac{F_{ср}}{s \cdot l_B} \leq [\tau_{ср}] = \frac{\tau_{ср}}{S}$$

При проектировании соединения винт-гайка размеры гайки находят из расчета на срез

- τ_B – расчетное напряжение среза в витке,
- $F_{ср}$ – сила среза,
- $A_{ср}$ – площадь среза,
- s – толщина витка,
- l_B – длина витка,
- $[\tau_{ср}]$ – допускаемое напряжение среза,
- $\tau_{ср}$ – предел прочности на срез,
- $S > 1$ – коэффициент запаса прочности.

Предельные износы ... (продолжение)

С учетом износа площадь среза будет равна

$$A_{cp1} = s_1 \cdot l_B = (s - U) \cdot l_B.$$

При достижении износом предельного значения $U = [U]$ имеющийся запас прочности будет исчерпан, т.е. $S = 1$, и поэтому

$$\tau_{B1} = \frac{F_{cp}}{A_{cp1}} = \frac{F_{cp}}{(s - [U]) \cdot l_B} = \tau_{cp}$$

Так как напряжения среза прямо пропорциональны приложенной нагрузке, то можно записать

$$\frac{s}{s - [U]} = S.$$

Это условие означает, что при достижении износом предельного значения $U = [U]$ имеющийся запас прочности будет исчерпан. Отсюда следует формула для предельного значения износа

$$[U] = s \cdot \left(1 - \frac{1}{S}\right)$$

Предельные износы ... (продолжение)

Пример 4.1. Определить допустимую величину износа витков гайки с резьбой УП440×48 нажимного механизма блюминга 1150, если коэффициент запаса прочности $S = 2$.

Решение.

По теории резьбовых соединений известно толщина витка гайки равна

$$h_B = \frac{s}{2} (1 + 0,75 \cdot \tan 33^\circ) = 48 \cdot 0,74 = 36 \text{ мм}$$

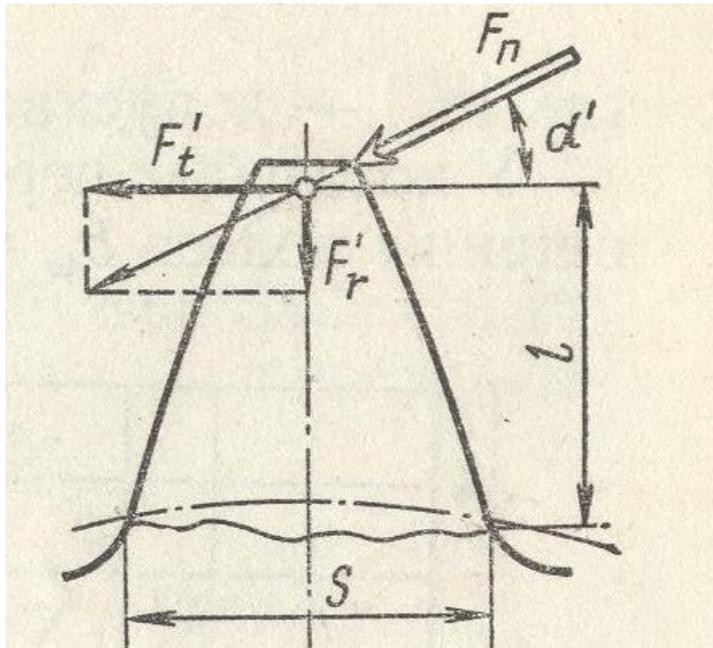
где $s = 48$ мм – шаг резьбы.

Определяем допустимую величину износа

$$[U] = h_B \cdot \left(1 - \frac{1}{S}\right) = 36 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 18 \text{ мм.}$$

Предельные износы ... (продолжение)

Зубчатое зацепление.



s - толщина зуба у основания,

S - запас прочности,

$[U] = U_{\max}$ - максимально допустимое значение износа

Учитывая, что напряжения изгиба у основания зуба обратно пропорциональны квадрату толщине зуба s , по аналогии с выше изложенным для соединения винт-гайка, можно записать

$$\left(\frac{s}{s - [U]}\right)^2 = S$$

Формула для определения допустимой величины износа зубчатого зацепления

$$[U] = s \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{S}}\right)$$

Предельные износы ... (продолжение)

Пример 4.2. Определить допустимую величину износа шестерни реечного толкателя слябов, если модуль диаметр делительной окружности шестерни $D = 760$ мм, модуль зацепления $m = 6$ мм, а коэффициент запаса прочности $S = 1,2$.

Решение.

Из теории эвольвентного зубчатого зацепления известно, что толщина зуба в основании определяется по формуле

$$s = \frac{D - 2,5 \cdot m}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot m}{D} + 0,03 \right) = \frac{760 - 2,5 \cdot 38}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 38}{760} + 0,03 \right) = 62,2 \text{ мм.}$$

Тогда допустимая величина износа шестерни равна

$$[U] = s \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{S}} \right) = 62,2 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1,2}} \right) = 5,5 \text{ мм.}$$

Стратегии восстановления

Стратегия восстановления -

определенная периодичность замен и уровень восстановления работоспособного состояния деталей, узлов и механизмов оборудования; при этом этот термин применим как к агрегату или машине в целом, так и к её составным частям.

Применительно к агрегату (машине) в зависимости от величины затрат на устранение отказа, различают:

- полное восстановление реализуется при капитальном ремонте,
- минимальное восстановление – при текущих ремонтах.

Виды восстановления работоспособного состояния оборудования при текущих и аварийных ремонтах

- полное восстановление - замена составной части (механизма, узла), в которой произошел отказ,
- минимальное восстановление - замена или восстановление непосредственно отказавшей детали.

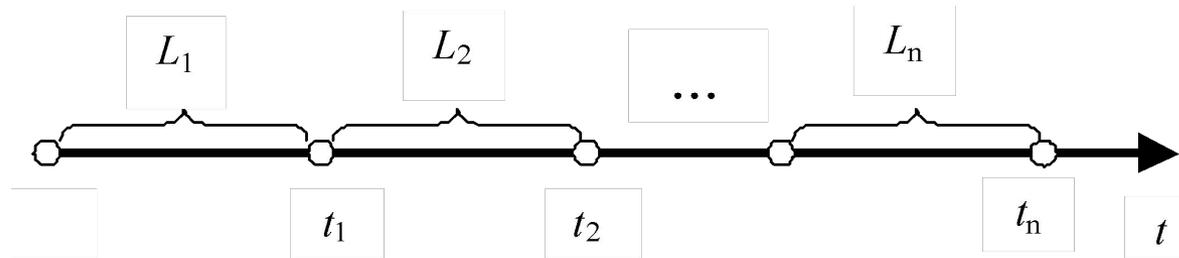
Критерий для оценки стратегий восстановлений -

интенсивность затрат, т.е. средние затраты на восстановление в единицу времени.

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 1

Стратегия 1. Стратегия аварийных замен.

Система восстанавливается полностью только после отказа. После полного восстановления показатели надежности системы соответствуют её исходному состоянию.



L_i - наработки, t_i – моменты отказов, о – полное восстановление.

Интенсивность затрат определяется по формуле

$$R = \frac{M(C)}{M(L)}$$

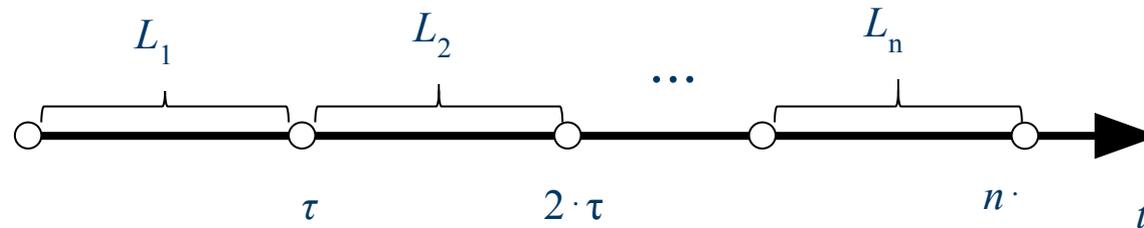
$M(C)$ – математическое ожидание эксплуатационных затрат в C_i – цикле;

$M(L)$ - математическое ожидание наработок, имеющих протяженность L_i .

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 2

Стратегия 2. Стратегия плановых и аварийных полных замен.

Система в случае отказа подвергается полному восстановлению, а в фиксированные моменты времени $t_i = \tau, 2 \cdot \tau, \dots, n \cdot \tau$ проводятся плановые замены.



L_i - наработки, $i \cdot \tau$ - моменты плановых замен, 0 - полное восстановление.

Интенсивность затрат

$$R(\tau) = \frac{C_{\text{пл}} + C_{\text{ав}} \cdot H(\tau)}{\tau}$$

$C_{\text{пл}}$ - затраты, связанные с плановыми заменами;

$C_{\text{ав}}$ - затраты, связанные с аварийными заменами;

$H(\tau)$ - математическое ожидание числа аварийных восстановлений на интервале $[0, \tau]$.

Межремонтный период

$$\tau = \frac{C_{\text{пл}} + C_{\text{ав}} \cdot H(\tau)}{C_{\text{ав}} \cdot h(\tau)}$$

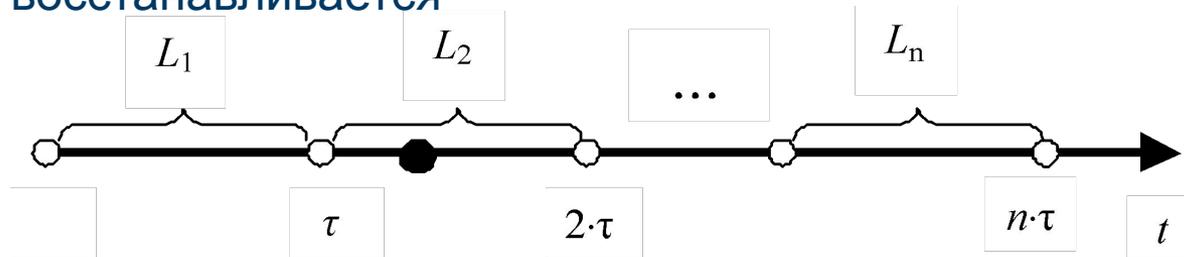
$h(\tau) = dH(\tau)/d\tau$ - плотность восстановлений.

Оптимальному межремонтному периоду $\tau_{\text{опт}}$ соответствует минимальная интенсивность эксплуатационных затрат $R(\tau_{\text{опт}})$ и плотность восстановлений $h(\tau_{\text{опт}})$.

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 3

Стратегия 3. Стратегия плановых и аварийных минимальных замен.

Система в фиксированные моменты времени $t_i = \tau, 2 \cdot \tau, 3 \cdot \tau, \dots, n \cdot \tau$ планово полностью восстанавливается



L_i – наработки, $i \cdot \tau$ – моменты плановых замен,
 ○ – полное восстановление; ● – минимальное восстановление.

Интенсивность затрат

$$R(\tau) = \frac{C_{\text{пл}} + C_{\text{ав}} \cdot \Lambda(\tau)}{\tau}$$

$C_{\text{пл}}$ – затраты, связанные с плановыми заменами;
 $C_{\text{ав}}$ – затраты, связанные с аварийными заменами;
 $\Lambda(\tau)$ – интенсивность отказов на интервале $[0, \tau]$.

Для распределения Вейбулла

$$R(\tau_{\text{опт}}) = \frac{b}{a} \cdot C_{\text{ав}} \cdot \left[\frac{C_{\text{пл}}}{(b-1) \cdot C_{\text{ав}}} \right]^{\frac{b-1}{b}}$$

b и a – параметры распределения Вейбулла

Оптимальный межремонтный период

$$\tau_{\text{опт}} = a \cdot \left[\frac{C_{\text{пл}}}{(b-1) \cdot C_{\text{ав}}} \right]^{\frac{1}{b}};$$

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 4

Пример 4.3. Нарботка редуктора имеет распределение Вейбулла с параметрами $a = 90$ суток и $b = 2$. Найти оптимальный интервал профилактических замен и соответствующую ему интенсивность затрат для различных затрат на плановую (полную) $C_{пл}$ и аварийную (минимальную) $C_{ав}$ замену для трех условий (см. ниже).

Решение.

1. $C_{пл} = 12$ ед. и $C_{ав} = 6$ ед. $\tau_{опт} = a \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(1-b) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{1}{b}} = 90 \cdot \left[\frac{12}{(2-1) \cdot 6} \right]^{\frac{1}{2}} = 127$ суток;

$$R(127) = \frac{b}{a} \cdot C_{ав} \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(b-1) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{b-1}{b}} = \frac{2}{90} \cdot 6 \cdot \left[\frac{12}{(2-1) \cdot 6} \right]^{\frac{2-1}{2}} = 0,188 \text{ ед./сут.}$$

2. $C_{пл} = 6$ ед. и $C_{ав} = 6$ ед. $\tau_{опт} = a \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(1-b) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{1}{b}} = 90 \cdot \left[\frac{6}{(2-1) \cdot 6} \right]^{\frac{1}{2}} = 90$ суток;

$$R(90) = \frac{b}{a} \cdot C_{ав} \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(b-1) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{b-1}{b}} = \frac{2}{90} \cdot 6 \cdot \left[\frac{6}{(2-1) \cdot 6} \right]^{\frac{2-1}{2}} = 0,133 \text{ ед./сут.}$$

3. $C_{пл} = 12$ ед. и $C_{ав} = 3$ ед. $\tau_{опт} = a \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(1-b) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{1}{b}} = 90 \cdot \left[\frac{12}{(2-1) \cdot 3} \right]^{\frac{1}{2}} = 180$ суток;

$$R(180) = \frac{b}{a} \cdot C_{ав} \cdot \left[\frac{C_{пл}}{(b-1) \cdot C_{ав}} \right]^{\frac{b-1}{b}} = \frac{2}{90} \cdot 3 \cdot \left[\frac{12}{(2-1) \cdot 3} \right]^{\frac{2-1}{2}} = 0,133 \text{ ед./сут.}$$

Пример 4.4. По данным предыдущего примера сравнить эффективность стратегий 1 (стратегия аварийных замен) и стратегии 3 (стратегия плановых и аварийных минимальных замен).

Решение.

Для стратегии 1 при $C = 12$ ед. (условие 1) находим

$$M(L) = a \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) = 90 \cdot 0,903 = 81,3 \text{ суток}$$

$$R_1 = \frac{M(C)}{M(L)} = \frac{12}{81,3} = 0,147 \text{ ед./сут.}$$

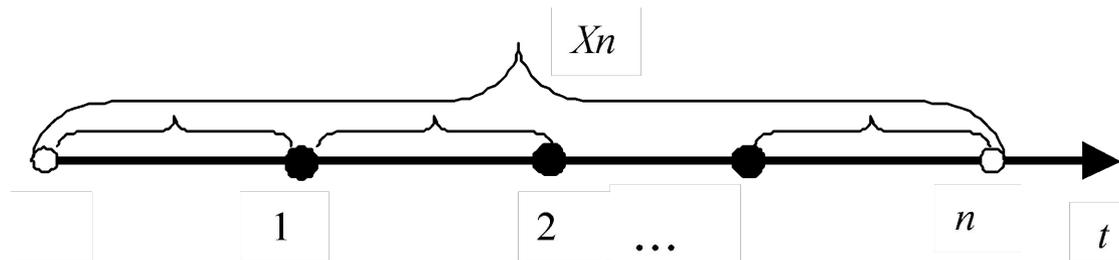
$\Gamma(1,5) = 0,903$ – табличное значение гамма-функции

- Для условия 1 стратегия аварийных замен (стратегия 1) является более эффективной, чем стратегия полных плановых и аварийных минимальных замен, так как интенсивность эксплуатационных затрат $R_1 = 0,147$ ед./сутки меньше $R_3(127) = 0,188$ ед./сутки, то.
- Для условий 2 и 3, наоборот, более эффективна стратегия 3, так как $R_3(90) = R_3(180) = 0,133 < R_1 = 0,147$ ед./сутки.

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 6

Стратегия 4. Стратегия аварийных минимальных замен.

После первых $(n - 1)$ отказов система подвергается минимальному восстановлению, а после n -го отказа система восстанавливается полностью



i – номера отказов, о – полное восстановление; ● – минимальное восстановление.
Интенсивность эксплуатационных затрат

$$R(n) = \frac{C_{ав} \cdot (n - 1) + C_{пл}}{M(X_n)}$$

Для распределения Вейсбулла

$$M(X_n) = a \frac{\Gamma(n)}{(n - 2)!}$$

$$n_{опт} = \left[\frac{1}{b - 1} \left(\frac{C_{пл}}{C_{ав}} - 1 \right) \right] + 1;$$

$C_{пл}$ – затраты, связанные с плановыми заменами;

$C_{ав}$ – затраты, связанные с аварийными заменами;

$M(X_n)$ - математическое ожидание длины цикла.

$$\Gamma(n) = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi}{n}} \cdot e^{-n} \cdot n^n \cdot \left(1 + \frac{1}{12 \cdot n} \right)$$

$$R(n_{опт}) = \frac{C_{ав} \cdot (n_{опт} - 1) + C_{пл}}{a} \cdot \frac{(n - 2)!}{\Gamma(n)}$$

Стратегии восстановления при внезапных отказах - 7

Пример 4.5. Замена комплекта вкладышей подшипника скольжения составляет 300 ед. при минимальном восстановлении и 1200 ед. при полном восстановлении путем замены подшипника в сборе. Нарботка комплекта имеет распределение Вейбулла с параметрами $a = 60$ суток и $b = 4$. Определить оптимальное число минимальных восстановлений, соответствующую этому интенсивность эксплуатационных затрат и длительность интервала полных замен.

Решение.

- оптимальное число минимальных восстановлений

$$n_{\text{опт}} = \left[\frac{1}{4-1} \left(\frac{12000}{300} - 1 \right) \right] + 1 = 14.$$

- минимальная интенсивность эксплуатационных затрат, ед./сут

$$R(14) = \frac{300 \cdot (14-1) + 12000}{60} \cdot \frac{(14-2)!}{\Gamma(14)} = 20,4$$

- значение гамма-функции

$$\Gamma(14) = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi}{14}} \cdot e^{-14} \cdot 14^{14} \cdot \left(1 + \frac{1}{12 \cdot 14} \right) = 6,23 \cdot 10^9.$$

- длительность интервала полных замен

$$M(X_n) = a \frac{\Gamma(n)}{(n-2)!} = 60 \cdot \frac{6,23 \cdot 10^9}{4,8 \cdot 10^8} = 789 \text{ суток.}$$

Восстановление при постепенных отказах - 1

$A(t)$ - средние затраты на восстановление за период $[0, \tau]$

Если затраты растут линейно во времени (как показывает практика, во многих случаях это соответствует действительности), то $A(t) = a \cdot t$, и с экономической точки зрения нет необходимости проводить полное восстановление, так как удельные затраты на восстановление остаются постоянными - $A(t)/t = a = const$.

$R(\tau)$ - интенсивность эксплуатационных затрат $R(\tau) = \frac{C + A(\tau)}{\tau}$

τ - длина цикла через,

C - затраты на восстановление (замену системы).

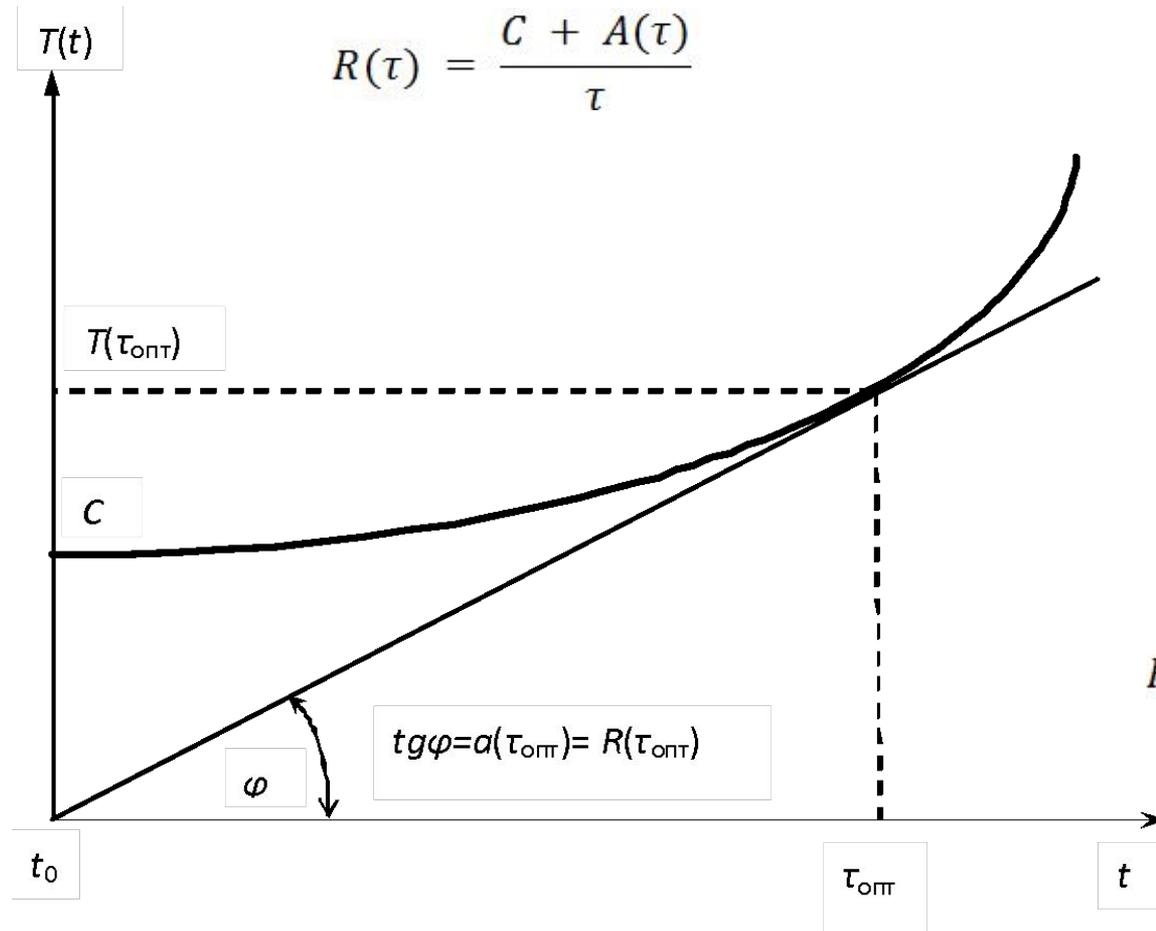
Если средние затраты на восстановление растут быстрее, чем линейно, то может оказаться экономичнее заменить систему на новую. Тогда экономичное время эксплуатации τ определяется из соотношения $R(\tau_{\text{опт}}) = \min R(\tau)$, т.е. из условия $dR(\tau)/d\tau = 0$.

Кривая эксплуатационных затрат описывается выражением (см. рисунок)

$$T(t) = C + A(t) = C + \int_0^{\tau} a(t) \cdot dt$$

Восстановление при постепенных отказах - 2

Кривая эксплуатационных затрат



Экономичное время эксплуатации

$$\tau_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2 \cdot C}{a}}$$

Интенсивность эксплуатационных затрат

$$R(\tau_{\text{опт}}) = a \cdot \tau_{\text{опт}} = \sqrt{2 \cdot a \cdot C}$$

Восстановление при постепенных отказах - 3

Пример 4.6. Средние затраты на замену вкладышей подшипников скольжения составляют $A(t) = 6$ ед./сутки, а полная замена узла – $C = 12000$ ед. Средняя наработка вкладышей $T = 60$ суток. Определить экономичное время эксплуатации и интенсивность эксплуатационных затрат.

Решение.

Используя приведенные выше формулы, находим

- коэффициент пропорциональности $a = \frac{A(t)}{T} = \frac{6}{60} = 0,1$ ед./сут²
- экономичное время эксплуатации $\tau_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2 \cdot C}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12000}{0,1}} = 490$ суток;
- интенсивность эксплуатационных затрат $R(490) = \sqrt{2 \cdot a \cdot C} = \sqrt{2 \cdot 0,1 \cdot 12000} = 49$ ед./сутки.
- общие затраты $C_{\Sigma} = \tau_{\text{опт}} \cdot R(490) = 490 \cdot 49 = 24010$ ед.

Восстановление на основе задания лимита времени - 1

Принцип восстановления с ограничением затрат на восстановление если затраты на восстановление превышают заданный лимит, то система не восстанавливается, а заменяется новой.

Интенсивность эксплуатационных затрат R (рис.) $R = \frac{L(t) + J(t)}{M(t)} = const.$

- $L(t)$ - лимит затрат на восстановление; $L(t) = R \cdot M(t) - J(t)$
- $J(t)$ – эксплуатационные затраты от текущего момента t до оптимального интервала восстановления $\tau_{\text{опт}}$;
- $M(t)$ – промежуток времени от текущего момента t до оптимального интервала восстановления $\tau_{\text{опт}}$.

Лимит затрат на восстановление

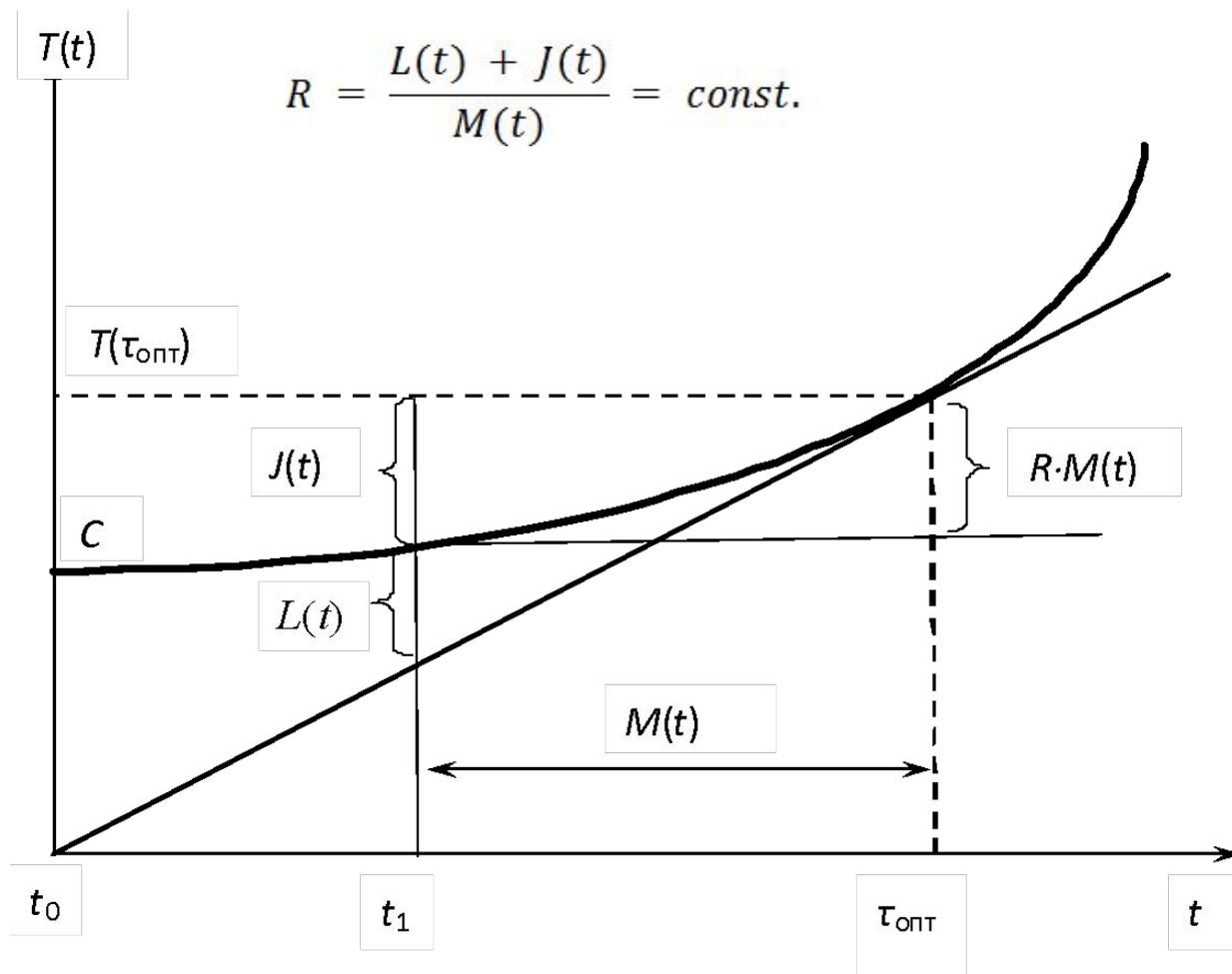
$$L(t) = (\tau_{\text{опт}} - t) \cdot A(\tau_{\text{опт}}) = \int_0^{\tau_{\text{опт}}} A(t) \cdot dt, \quad 0 < t < \tau_{\text{опт}}.$$

При линейной зависимости $A(t) = a \cdot t$ $J(t) = \int_0^{\tau_{\text{опт}}} A(t) \cdot dt = C - \frac{a \cdot t^2}{2}$

$$L(t) = \left(\sqrt{\frac{2 \cdot C}{a}} - t \right) \sqrt{2 \cdot a \cdot C} - \left[C - \frac{a \cdot t^2}{2} \right] = C + \frac{a \cdot t^2}{2} - t \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot C}$$

Восстановление на основе задания лимита времени - 2

Стратегия восстановления на основе задания лимита времени



Лимит затрат на восстановление

$$L(t) = R \cdot M(t) - J(t)$$

$J(t)$ – эксплуатационные затраты от текущего момента t до оптимального интервала восстановления $\tau_{\text{опт}}$

$M(t)$ – промежуток времени от текущего момента t до оптимального интервала восстановления $\tau_{\text{опт}}$

Восстановление на основе задания лимита времени - 3

Пример 4.7. По данным предыдущего примера определить, требуется ли в момент времени $t = 400$ суток восстановление узла трения путем замены комплекта вкладышей подшипников или необходима замена узла в сборе.

Решение.

Используя приведенную выше формулу, находим

$$\begin{aligned} L(t) &= C + \frac{a \cdot t^2}{2} - t \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot C} \\ &= 12000 + \frac{0,1 \cdot 400^2}{2} - 400 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,1 \cdot 12000} = 404 \text{ ед.} \end{aligned}$$

По данным примера 10.4 средние затраты на замену вкладышей подшипников скольжения составляют $A(t) = 6$ ед./сутки при средней наработке вкладышей $T = 60$ суток.

Следовательно, затраты на их замену составляют 360 ед., что меньше лимита $L(t) = 404$ ед. Поэтому восстановление следует производить путем замены комплекта вкладышей.

Оценка эффективности принимаемых решений при техническом обслуживании -1

Предельная эффективность (ПЭ) оборудования по Накоями

$$\text{ПЭ} = \text{Готовность} \cdot \text{Производительность} \cdot \text{Качество}$$

Готовность выражается через **коэффициент готовности K_g**

$$K_g = \frac{\text{рабочее время} - \text{время простоя}}{\text{рабочее время}}$$

Производительность выражается через **темп производства $ТП$**

$$ТП = НЭ \cdot НСЭ$$

$$НЭ = \frac{\text{выпуск продукции}}{(\text{рабочее время} - \text{время простоя}) \cdot (\text{время реального цикла})}$$

$$НСЭ = \frac{\text{плановое время цикла}}{\text{фактическое время цикла}}$$

НЭ – норма эксплуатации;
НСЭ – норма скоростной эксплуатации.

Качество выражается через **коэффициент качества K_k**

$$K_k = \frac{\text{количество качественной продукции}}{\text{общее количество продукции}}$$

Оценка эффективности принимаемых решений при техническом обслуживании - 2

Интегральная шкала эффективности (ИШЭ) по Хиби

$$\text{ИШЭ} = \frac{\text{стоимость общего ремонта} + \text{стоимость потерь}}{\text{стоимостная контрольная шкала}}$$

В качестве контрольной стоимостной шкалы обычно используется стоимость энергии U (кВт · ч) или другие измеряемые показатели. За i -ый период времени формула имеет вид

- U_i – интегральная шкала эффективности за i -ый период;
- P_i – стоимость контрольной шкалы за i -ый период;
- R - стоимость ремонта;
- L - потери при отказе оборудования, которые равны

$$U_i = \frac{(R + L) \cdot i}{P_i}$$

$$L = L_1 + L_2 = L_{11} + L_{12} + L_2$$

- L_1 – производственные потери;
- L_{11} – затраты на поддержание производства;
- L_{12} - фактические убытки производства;
- L_2 - издержки.

Ремонтопригодность машин - 1

Ремонтопригодность –

свойство изделия, которое заключается в его приспособленности к обнаружению и устранению последствий отказов путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Мера ремонтпригодности -

время и затраты на восстановление работоспособного состояния.

А. Показатели ремонтпригодности машин в процессе их эксплуатации.

Единичные показатели ремонтпригодности:

- среднее время восстановления работоспособного состояния (математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния) - T_B ;
- вероятность восстановления работоспособного состояния $P(t) = P(t_B < t)$ (вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превышает заданного – аналогия вероятности отказов);
- - средние затраты на восстановление работоспособного состояния –С.

Ремонтопригодность машин - 2

Комплексные показатели ремонтпригодности:

- **коэффициент готовности $K_r = T/(T+T_B)$ -**

вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусмотрено (T - средняя наработка на отказ);

- **коэффициент оперативной готовности $K_{ог} = n/N$ -**

вероятность безотказной работы объекта в течение заданного времени t , начиная с произвольного, достаточно удаленного момента времени, т.е. отношение числа объектов n , исправных в произвольный, достаточно удаленный момент времени, и проработавших затем безотказно в течение заданного времени, к общему числу объектов N ;

- **коэффициент технического использования $K_{ти} = T/(T+T_B+T_p)$ -**

отношение математического ожидания наработок на отказ за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий наработок на отказ, плановых ремонтов и аварийных простоев оборудования (T_p - время ремонтов).

Ремонтопригодность машин - 3

Б. Показатели ремонтпригодности машин на стадии проектирования .

- коэффициент взаимозаменяемости

$$K_B = \frac{S_{DM}}{S_{DM} + S_{П}}$$

- коэффициент доступности

$$K_D = \frac{S_O}{S_O + S_B}$$

- коэффициент унификации

$$K_Y = \frac{N_Y}{N}$$

- коэффициент стандартизации

$$K_{CT} = \frac{N_{CT}}{N}$$

S – трудоемкость работ: S_{DM} - демонтажно-монтажных, $S_{П}$ - пригоночных,
 S_B – вспомогательных, S_O – основных;

N - число сборочных единиц: N_Y – унифицированных, N_{CT} – стандартных,
 N - общее число сборочных единиц.

Вопросы выходного контроля

1. Что понимается под предельным состоянием?
2. Какие технические характеристики называют «пассивными»?
3. Назовите критерии предельно допустимого состояния?
4. К каким последствиям приводит предельный износ сопряжения?
5. Что понимается под стратегией восстановления?
6. Что такое коэффициент готовности?

