

A close-up photograph of a metal component, possibly a valve or fitting, showing signs of wear and oxidation. A red mark is visible on the surface. The background is a light-colored, textured surface.

3.2.

**ОЦЕНИВАНИЕ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
ОКИСЛИТЕЛЬНОГО  
ИЗНАШИВАНИЯ**

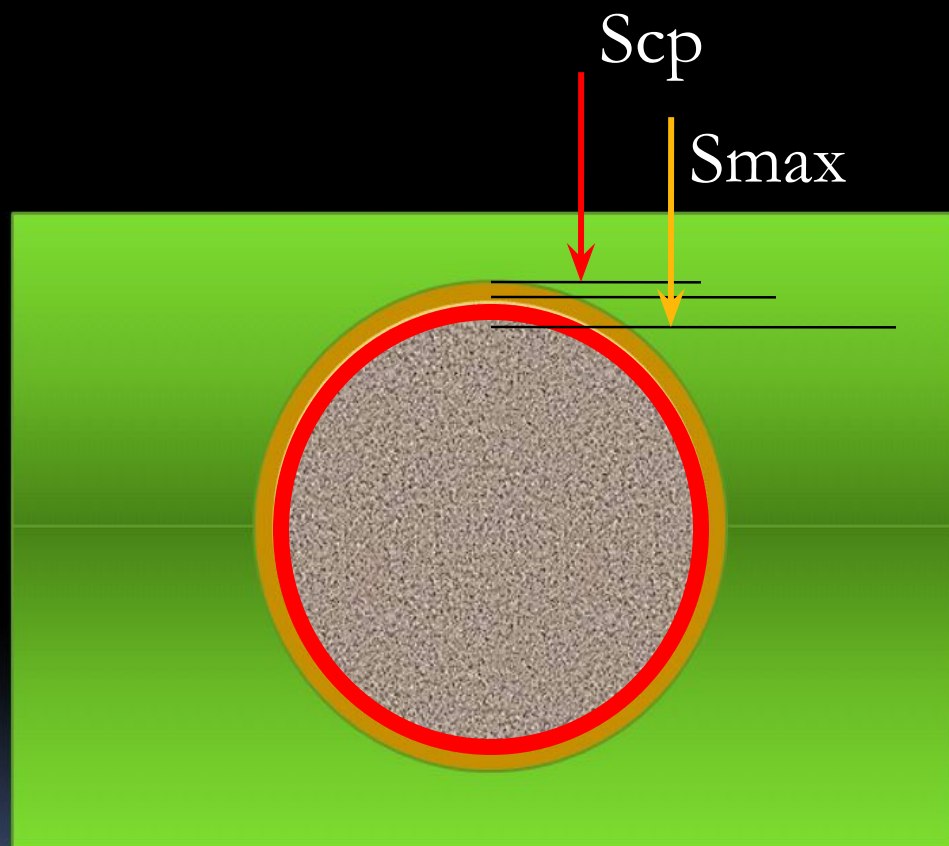
14/04/2008

# Знание

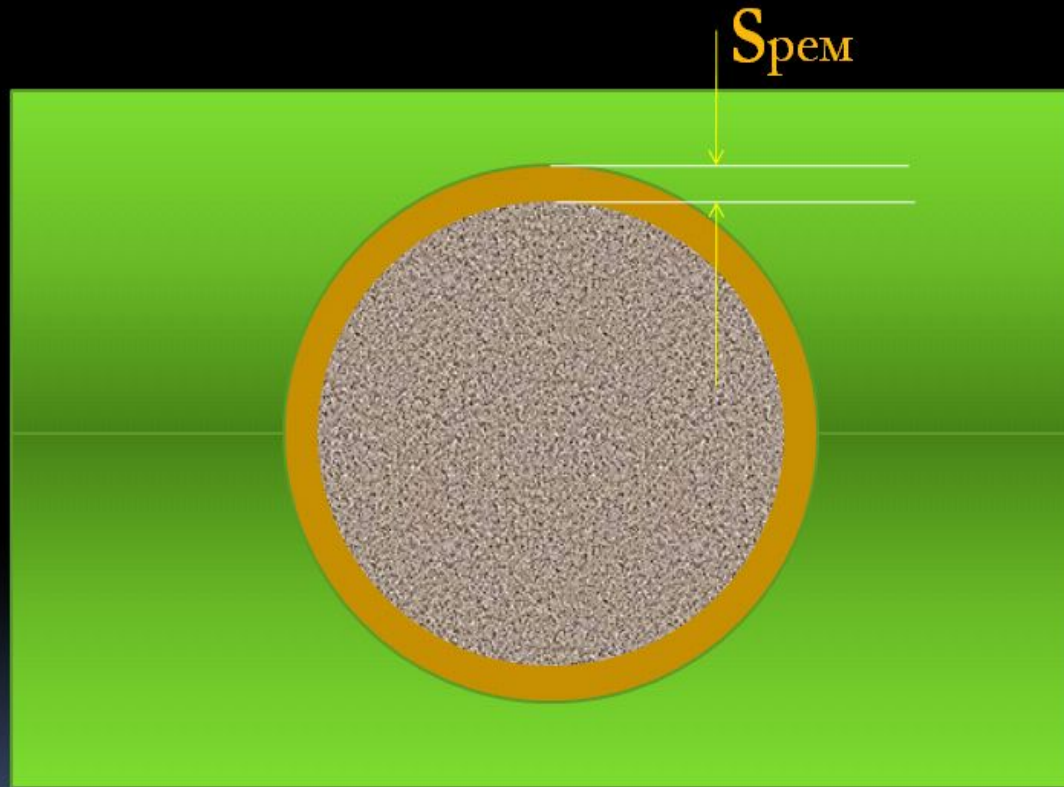
закономерностей

изнашивания позволяет:

- определить величины среднего и максимального **ИЗНОСОВ** деталей, накопленных за известный промежуток эксплуатации,

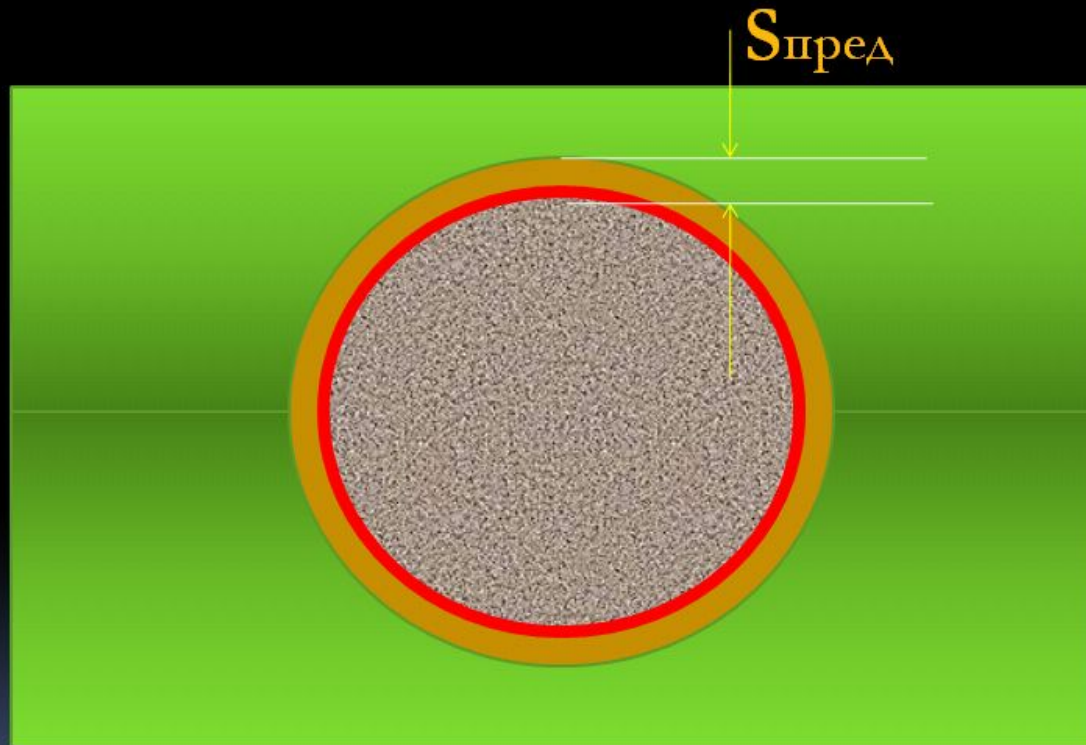


# ■ УСТАНОВИТЬ



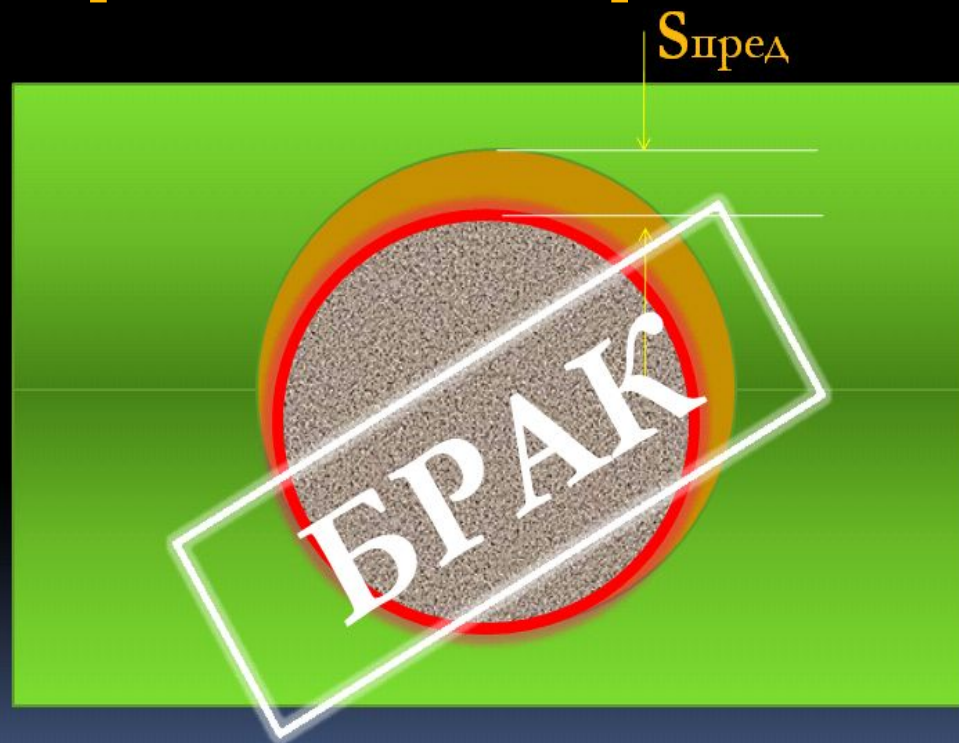
величины ремонтных допусков на зазоры в парах трения,

# ■ Находить



предельно допустимую *наработку* этих пар;

# ■ Прогнозировать



их отбраковку в процессе дефектации при ремонте авиационной техники.

# Изнашивание

пар трения зависит:

- от их конструктивных особенностей;
- технологических факторов;
- эксплуатационных факторов ;
- носит случайный характер .

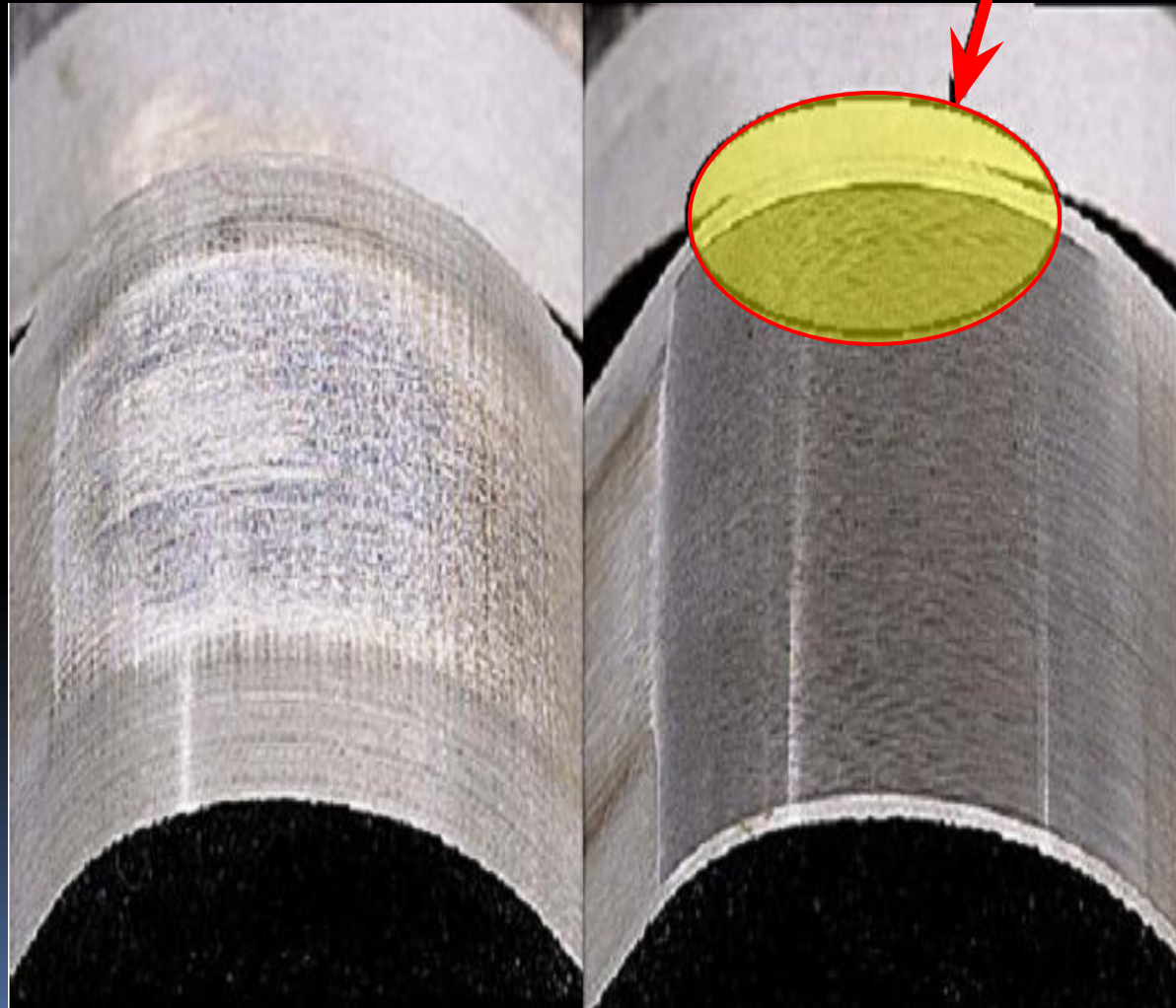
# Практически

нет двух абсолютно  
идентичных пар трения,  
**имеющих:**

- **одинаковое**  
***конструктивное***  
**решение ;**
- **изготовленных по одной**  
***технологии***, из одних и  
тех же материалов ;
- **эксплуатирующихся в**  
**одинаковых *условиях*.**

# Случайные,

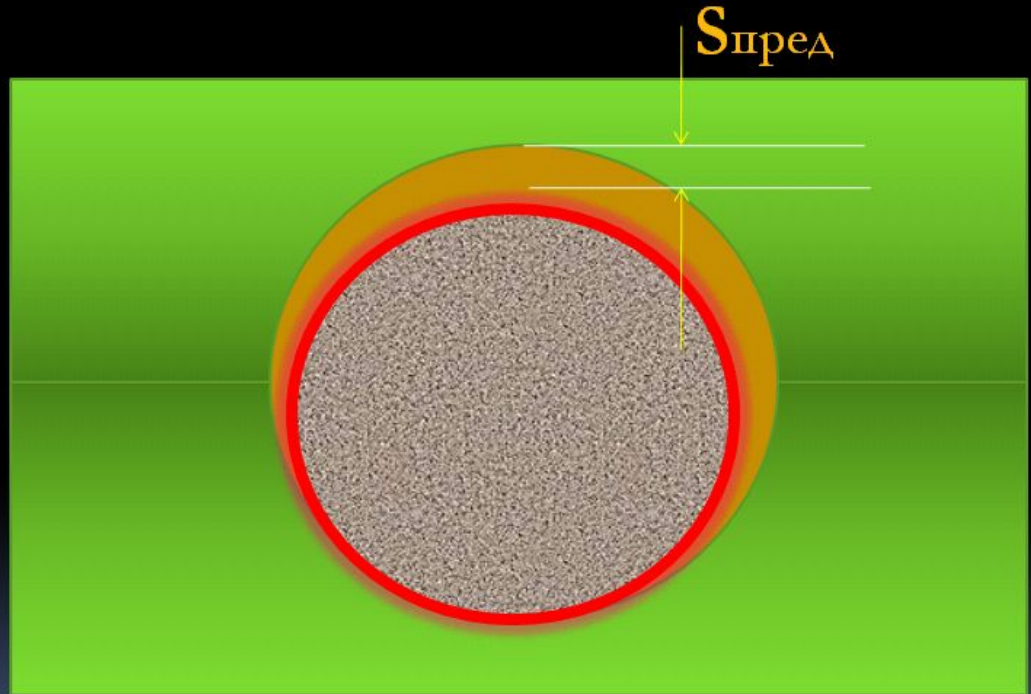
незначительные отклонения перечисленных параметров приводят к *случайным* скоростям и интенсивностям изнашивания.

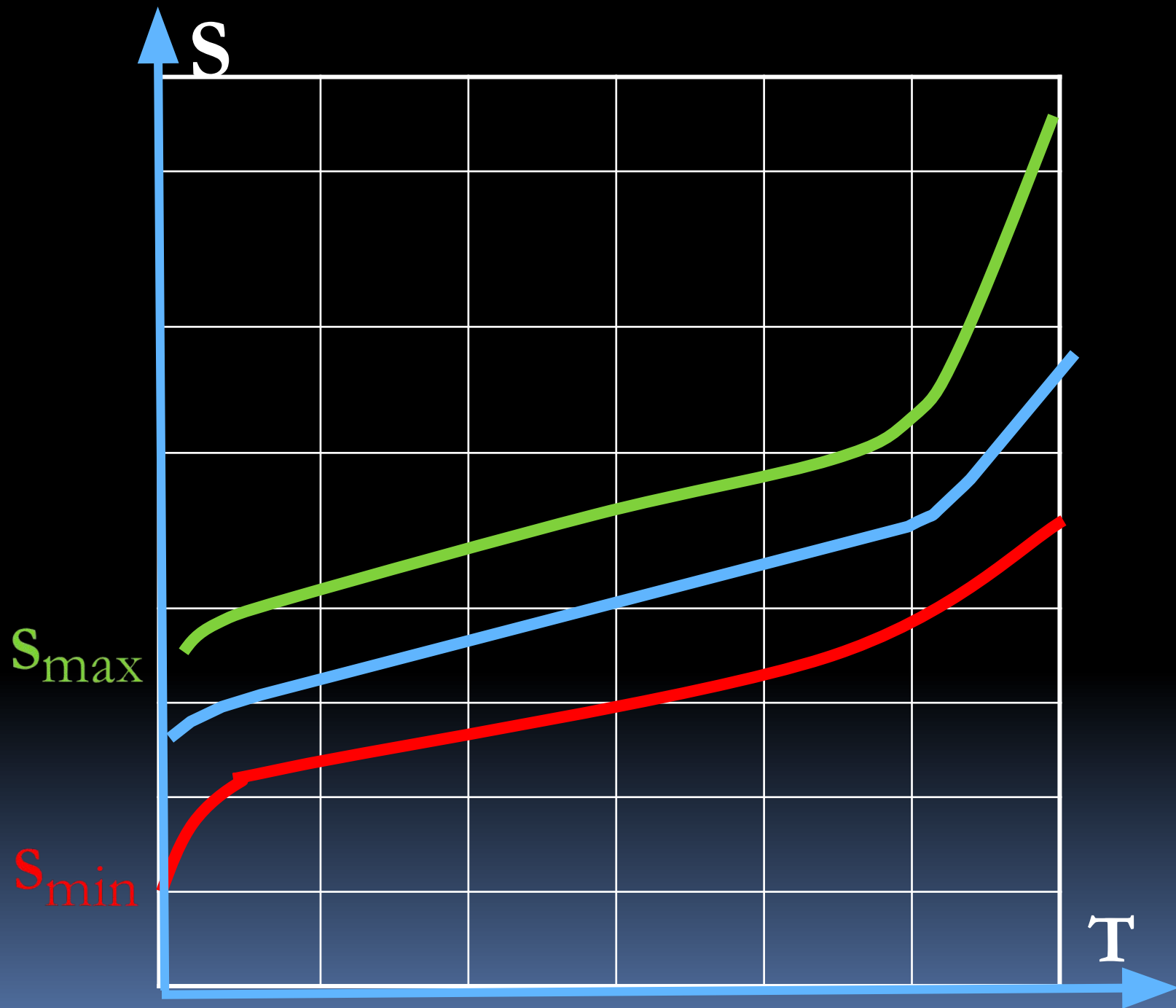




# Изнашивание

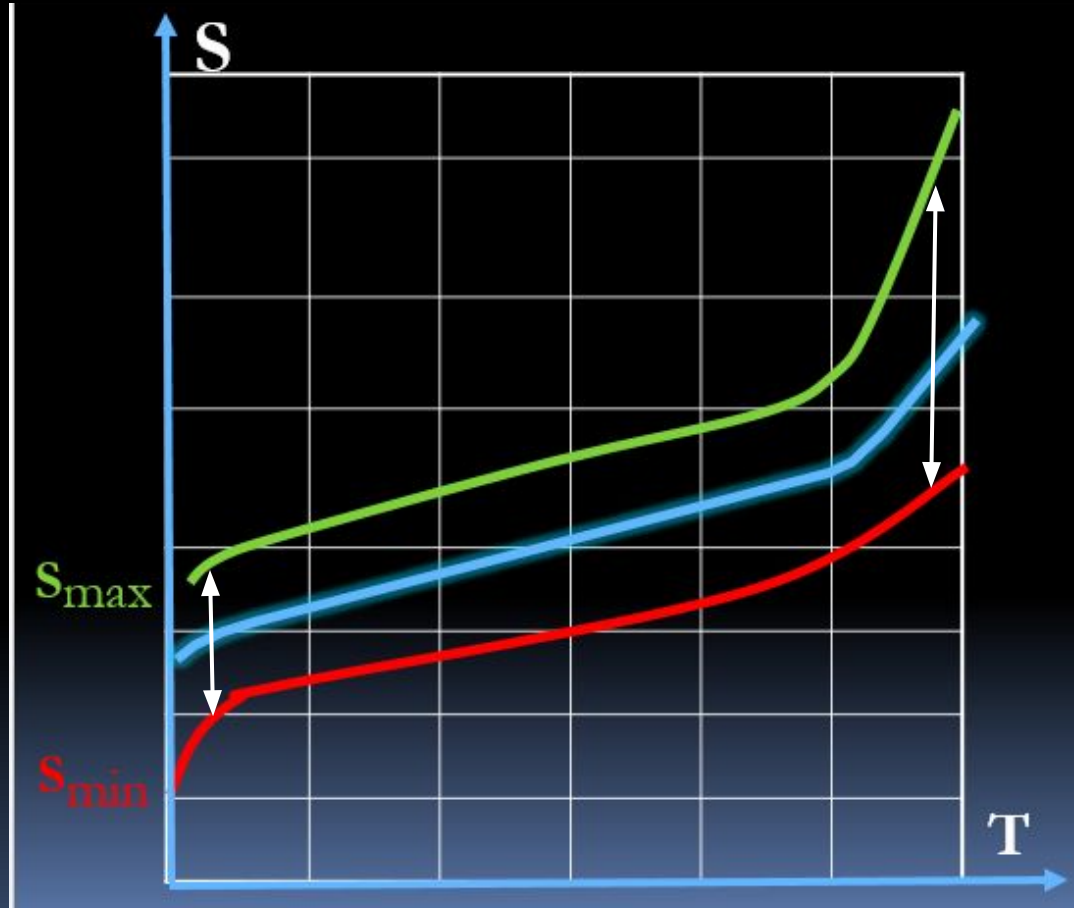
пар трения  
наглядно  
характеризуется  
изменением  
**зазора  $S$**  по  
наработке  $t$ .





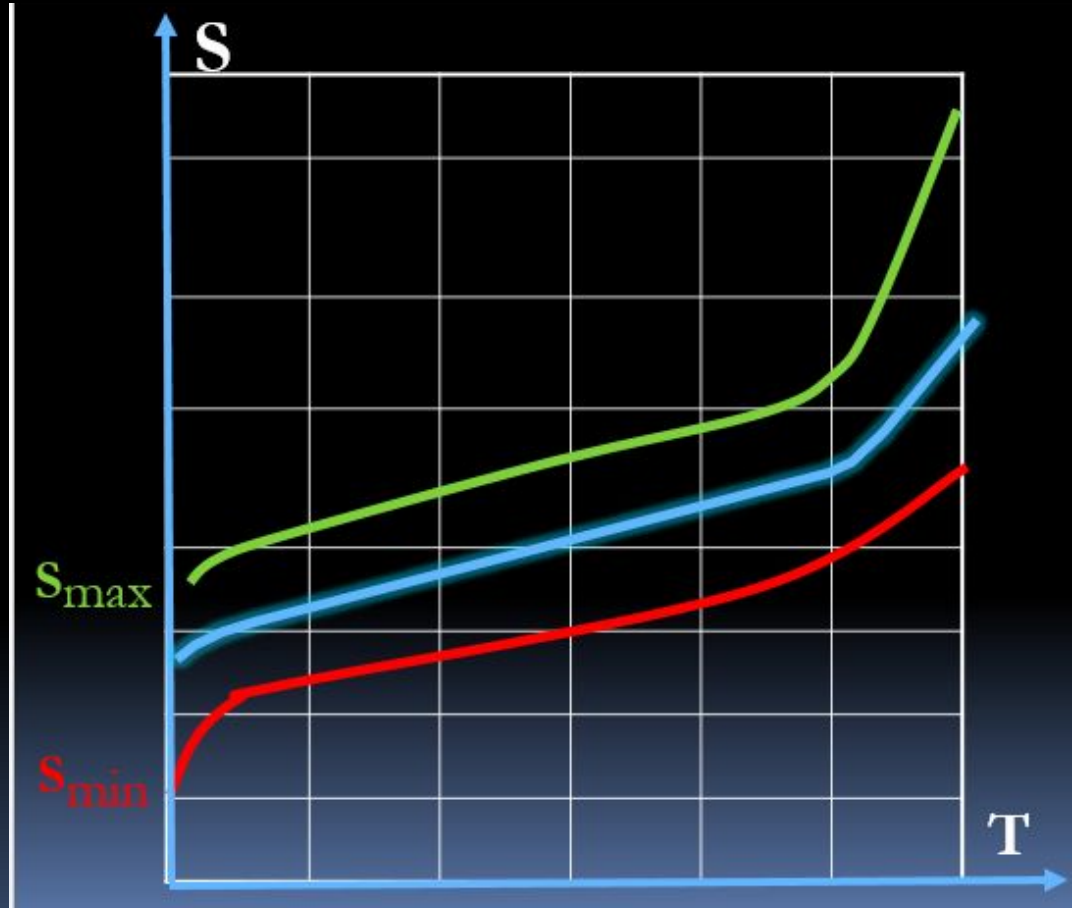
# Для каждой

■ пары трения в  
начальный момент,  
при  $t=0$  ,  
устанавливают  
серийный **зазор** в  
пределах от  $S_{\min}$   
до  $S_{\max}$  .



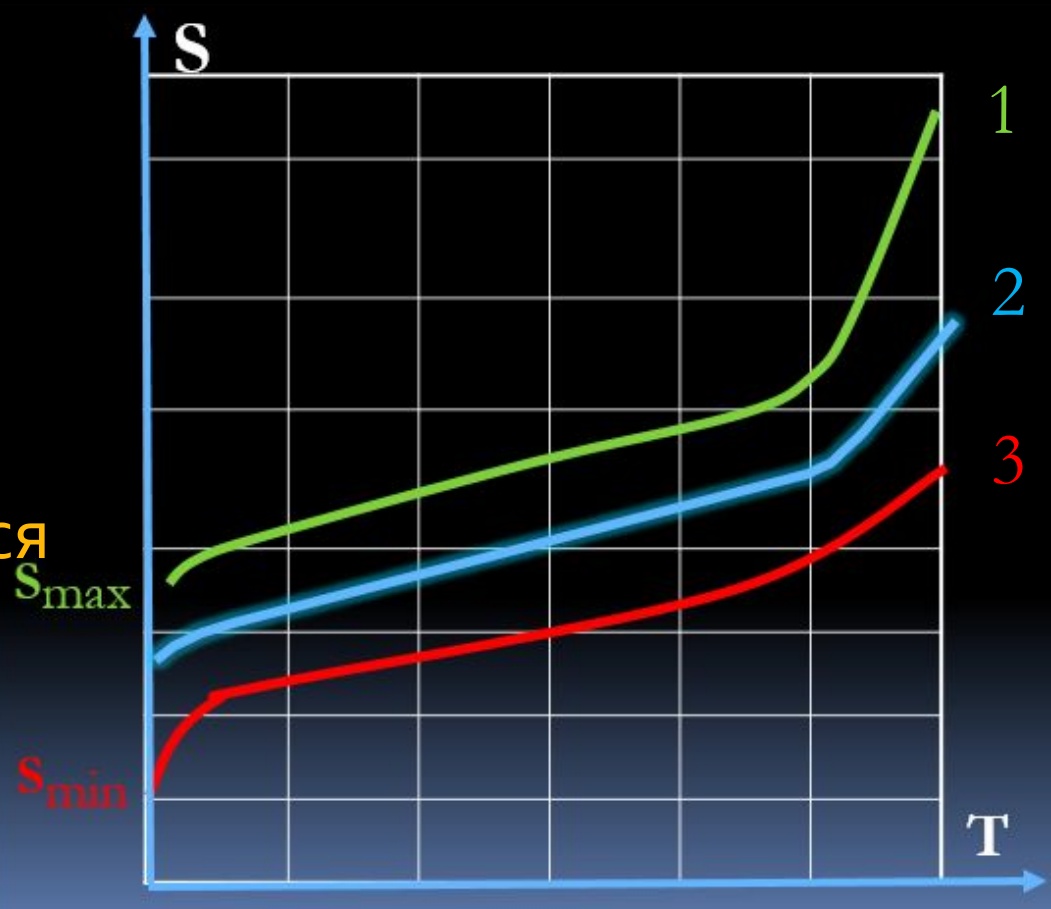
# Зазор

в каждой паре  
трения при  
увеличении  
наработки  
изменяется  
по своему,  
частному  
закону.



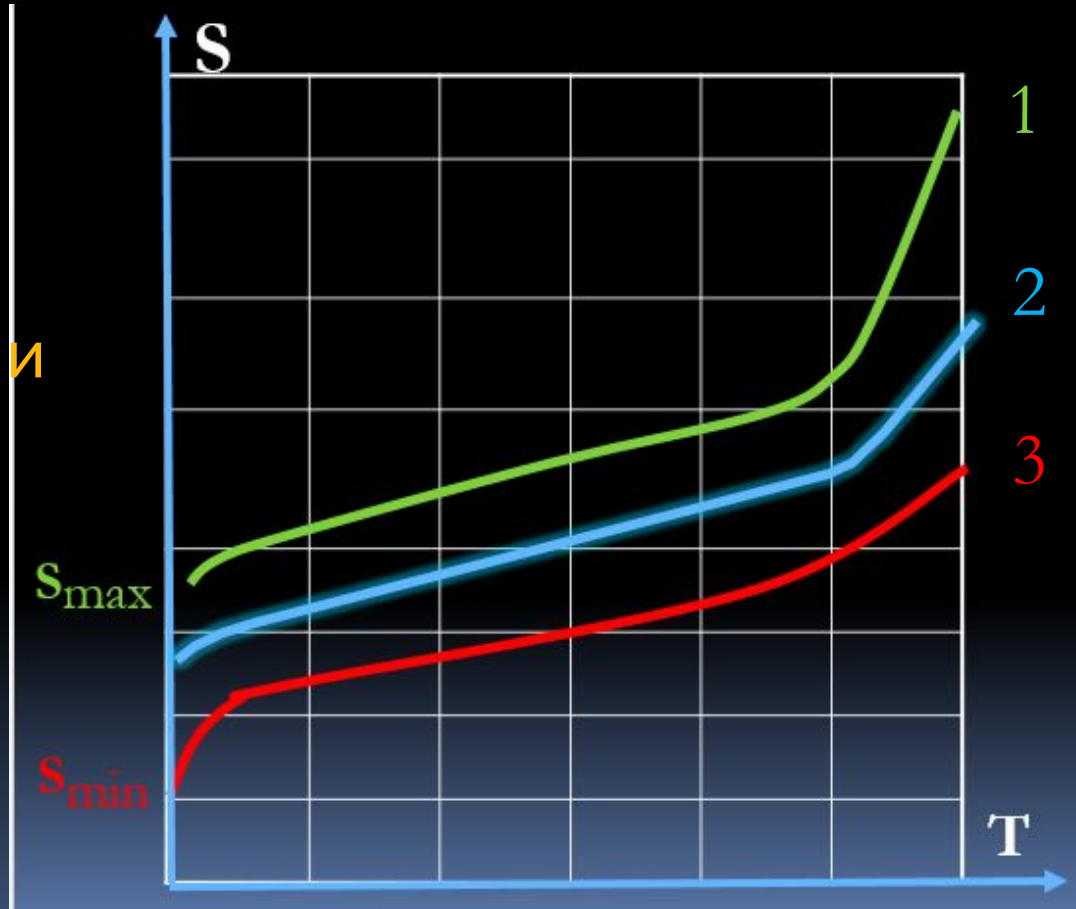
# Важно

знать изменение по наработке среднего зазора, характеризуемого кривой 2 около которого группируются все частные закономерности изнашивания.



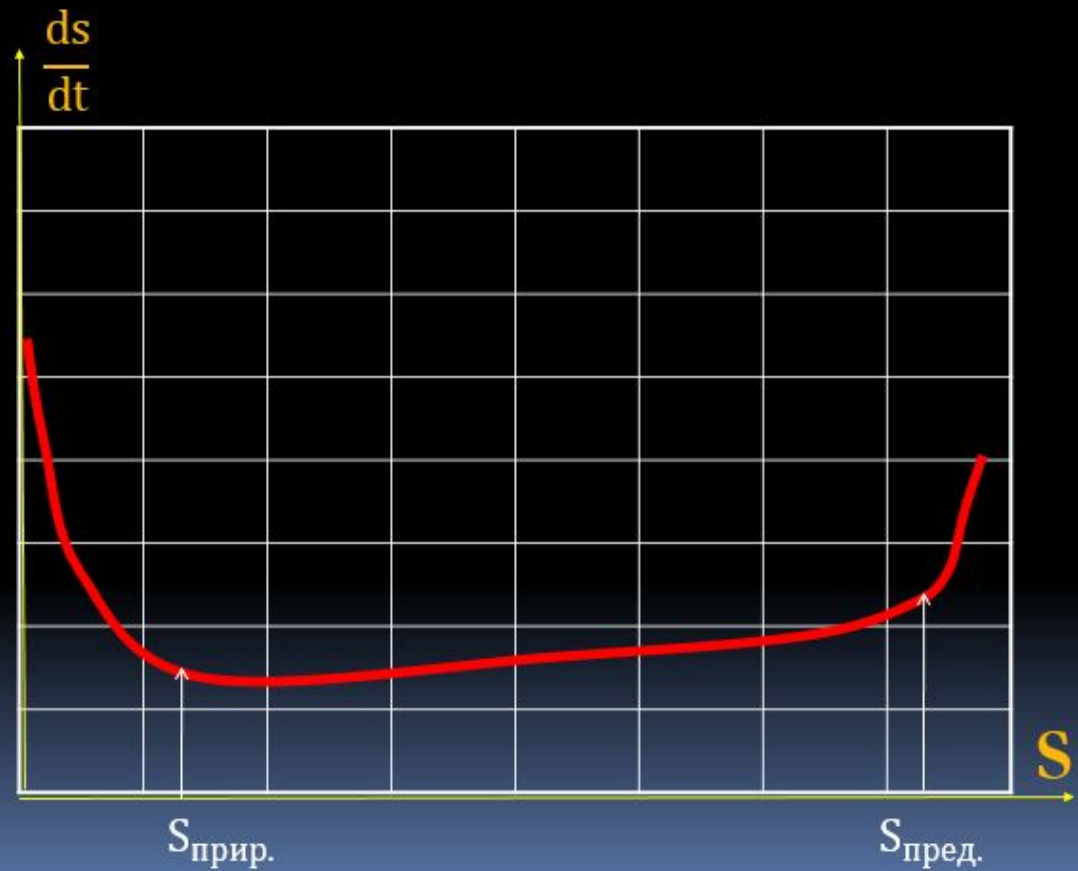
# Эти частные

случайные  
закономерности не  
выходят  
за верхнюю (кривая 1) и  
нижнюю (кривая 3)  
границы.



# На основании

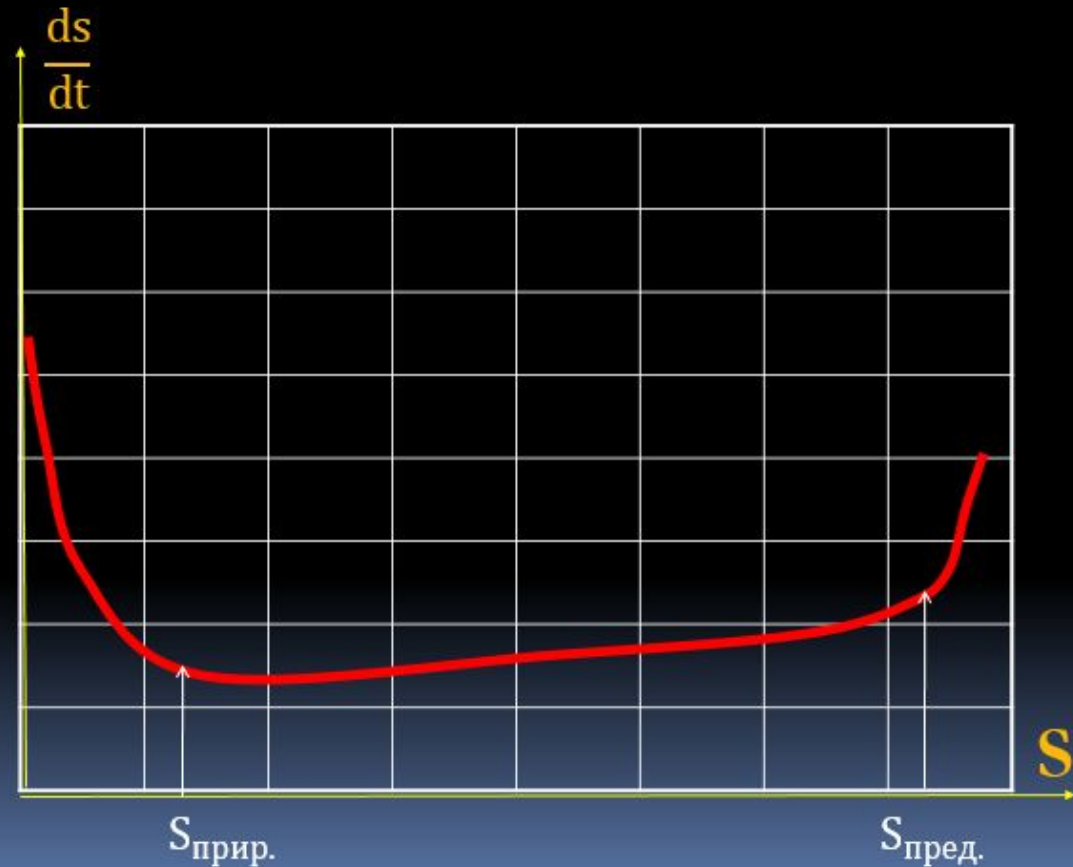
изучения  
окислительного  
изнашивания  
авиационных пар  
трения известно, что  
**скорость**  
изнашивания  
изменяется по **закону**,  
схема которого  
представлена на рис.  
3.6.



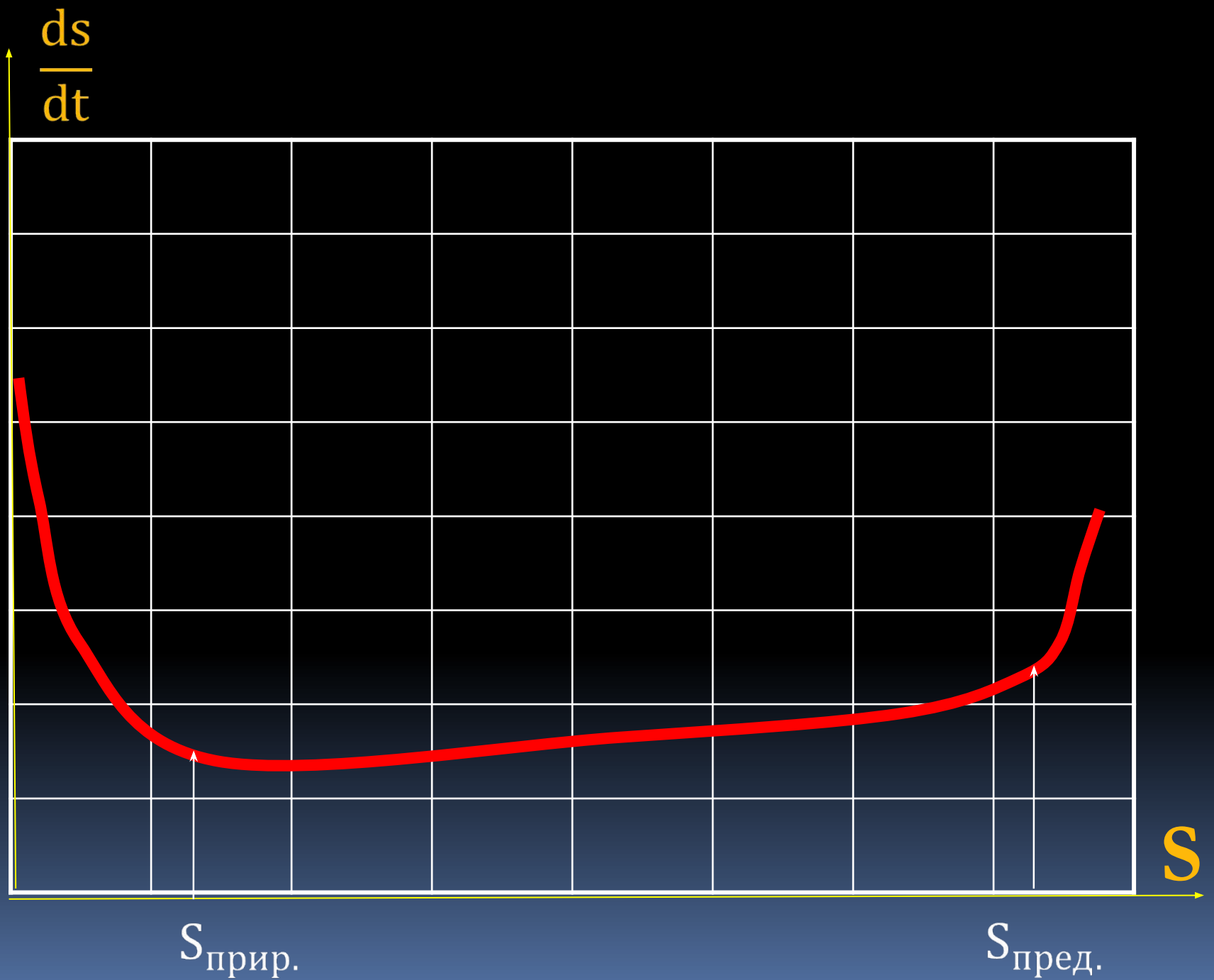
# По оси абсцисс

здесь отложена  
величина среднего  
*зазора  $S$* , а по оси  
ординат –

*скорость* его  
изменения при  
окислительном  
изнашивании.

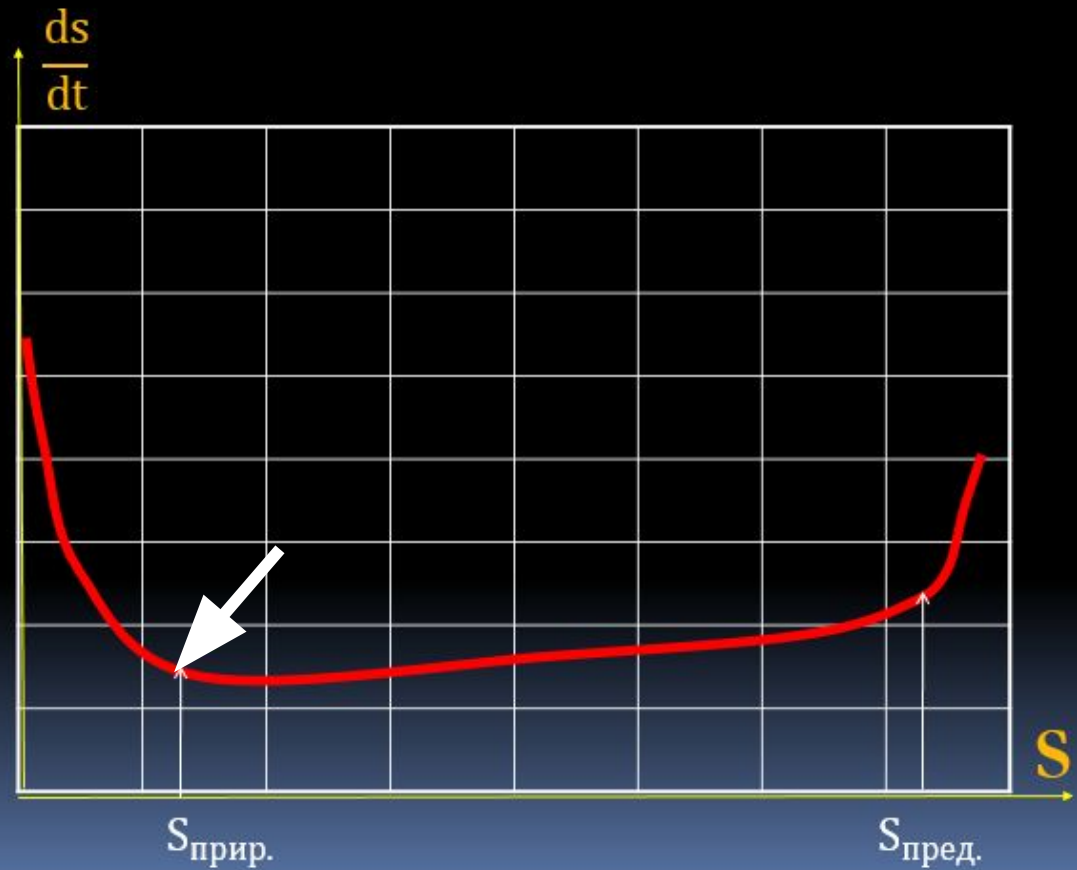






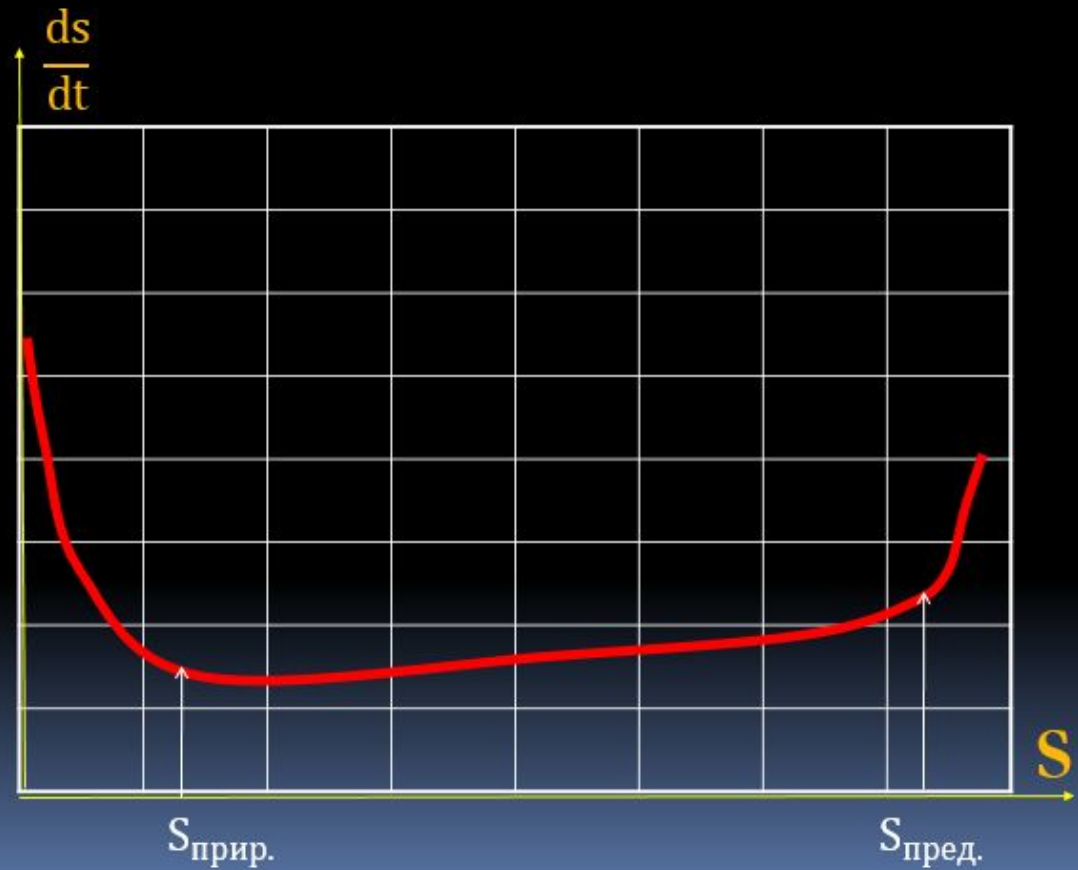
# В период

приработки от  $S_0$  до  $S_{\text{прир.}}$  скорость изнашивания постепенно уменьшается, достигая минимума при  $S_{\text{прир.}}$ , где  $S_{\text{прир.}}$  - величина зазора к моменту завершения этого этапа



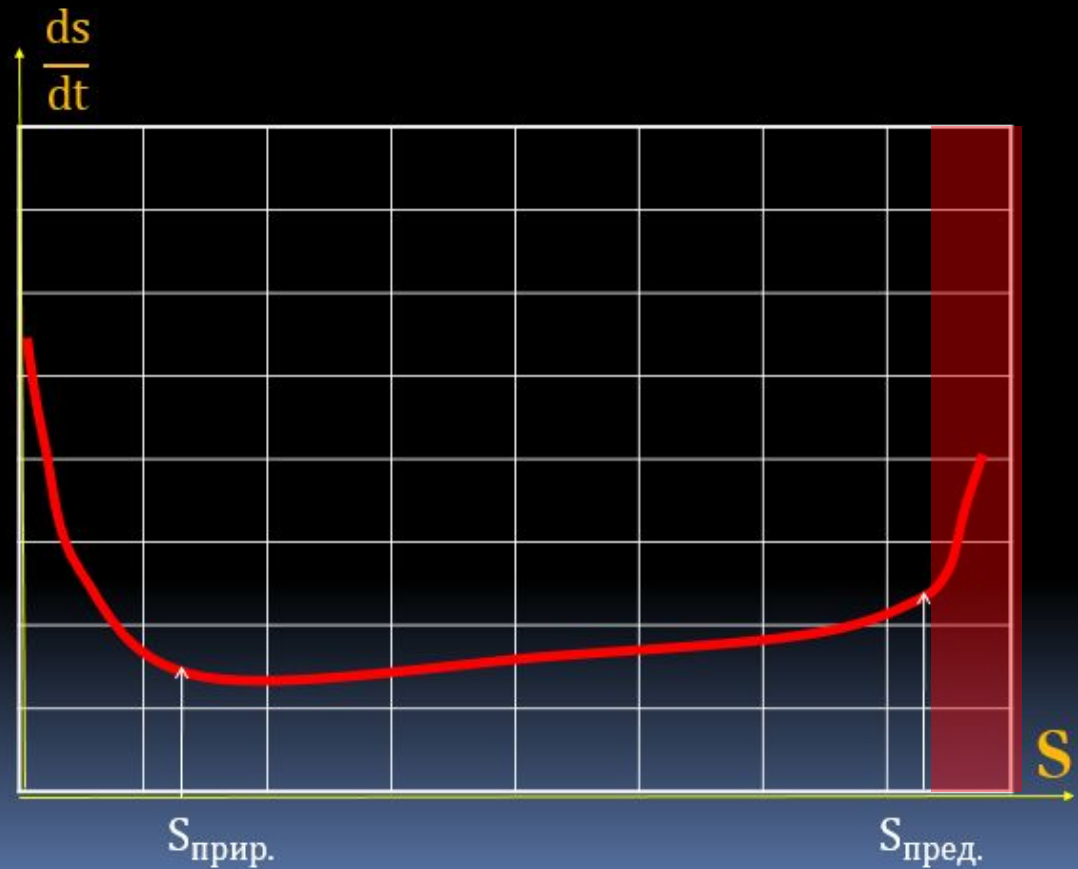
# В период

- установившегося изнашивания от  $S_{\text{прир.}}$  до предельного значения зазора  $S_{\text{пред.}}$  скорость окислительного изнашивания **постоянна** или изменяется по **линейному** закону.



# При достижении

предельного значения зазора  $S_{\text{пред}}$  наступает **аварийное** изнашивание, при котором скорость  $\frac{ds}{d\tau}$  резко увеличивается.

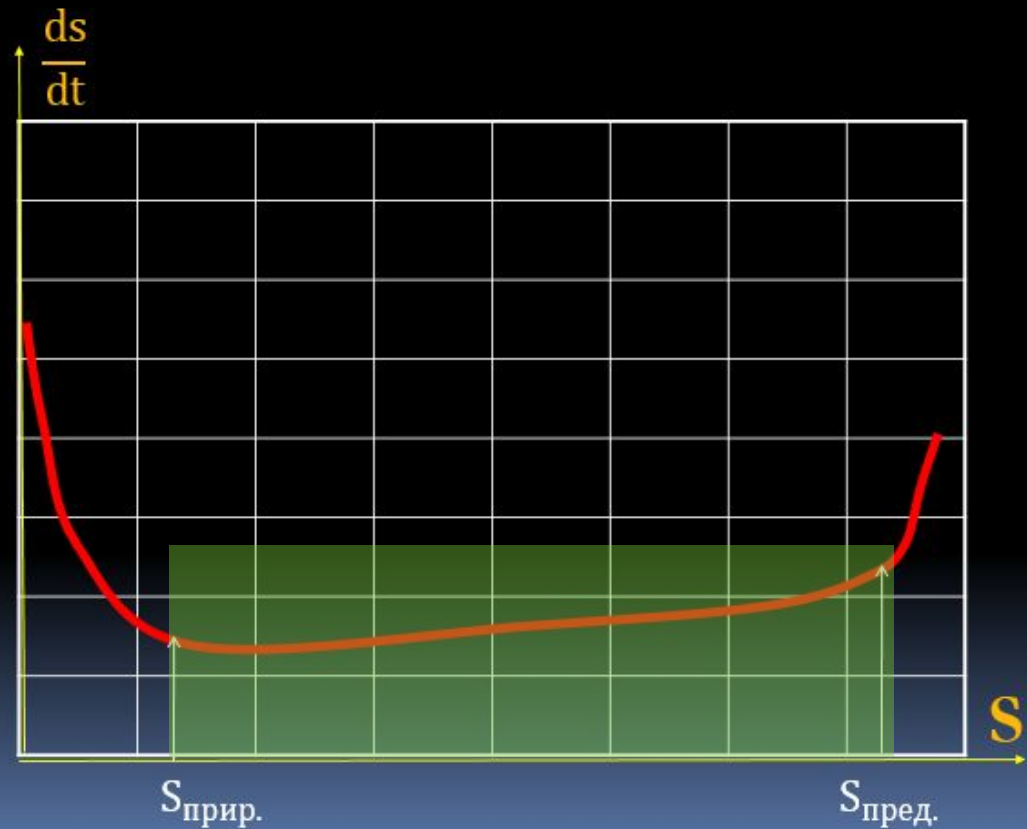


# В дальнейших

исследованиях будем изучать только период **установившегося изнашивания**, считая:

$$\frac{ds}{d\tau} = C_0 + C_1 S;$$

В последнем равенстве  $C_0$  и  $C_1$  **постоянные**, зависящие от конструктивных, технологических и эксплуатационных **факторов**.



# Преобразуя

- последнее равенство к виду:

- $$d\tau = \frac{dS}{C_0 + C_1 S} = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{d(C_0 + C_1 S)}{C_0 + C_1 S};$$

и интегрируя в пределах от  $\tau_1$  до  $\tau$  и от  $S_1$  до  $S$ ,

- где  $S_1$  - величина среднего зазора в момент наработки  $\tau_1$ , а  $S$  - в момент  $\tau$ ,

# Найдем

$$\int_{\tau_1}^{\tau} d\tau = \frac{1}{C_1} \int_{S_1}^S \frac{d(C_0 + C_1 S)}{C_0 + C_1 S}$$

откуда

$$\tau - \tau_1 = \frac{1}{C_1} \Big|_{S_1}^S \ln(C_0 + C_1 S)$$

или

$$\tau - \tau_1 = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{C_0 + C_1 S}{C_0 + C_1 S_1}$$

# Переходя

к десятичным логарифмам, получим

$$\tau - \tau_1 = \frac{1}{C_1 \log^2} \cdot \frac{\log \frac{C_0}{C_1} + S}{\log \frac{C_0}{C_1} + S_1}.$$



# Введя обозначение

$$\frac{1}{C_1 \log e} = T$$

$$C_0 C_1 = \sigma$$

- из *последнего* выражения, **найдем**,

$$\frac{\tau - \tau_1}{T} = \log \frac{S + \delta}{S_1 + \delta}$$

откуда

$$\frac{S + \delta}{S_1 + \delta} = 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}}$$

# Следовательно,

закономерность **изменения**  
*среднего* значения зазора  
**идентичных пар трения** при  
сделанном допущении о *линейном*  
**изменении скорости изнашивания**,  
подчиняется  
*экспоненциальному* закону

$$S = (S_1 + \delta) 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} - \delta \quad (8)$$

# Для верхней границы

- аналогичная **закономерность** имеет вид

$$S' = (S'_1 + \delta)10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} - \delta = (S_1 + \beta\sigma_1 + \delta)10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} - \delta \quad (9)$$

- Величина  **$S_1$**  означает здесь **максимальную величину зазора**, соответствующую верхней границе;
- **$\beta$**  - коэффициент, **зависящий** от выбранной **доверительной** вероятности;
- **$\sigma_1$**  - среднее квадратическое **отклонение** **величины** зазора,
- **$a - S_1$**  максимальная его величина в момент  **$t_1$**

# Приняв

в последнем *равенстве*

$$S' = S + \beta\sigma$$

- , где  **$\sigma$**  - среднее квадратическое отклонение в момент  **$t$**  и решая его совместно с предыдущим, получим :

$$\frac{S + \delta}{S_1 + \delta} = \frac{S + \beta\sigma + \delta}{S_1 + \beta\sigma_1 + \delta}$$

# Откуда,

после перемножения крайних членов полученной пропорции и приведения подобных найдем

$$\delta = \frac{S\sigma_1 - S_1\sigma}{\sigma - \sigma_1} \quad (10)$$

- После несложных преобразований из равенства (8) *получим*

$$T = \frac{\tau - \tau_1}{\log \frac{S + \delta}{S_1 + \delta}} \quad (11)$$

# В формулы (8), (9) и (11)

входят два параметра:  $T$  и  $\delta$

- Для их определения необходимо иметь статистические данные по величине среднего зазора и его среднего квадратического отклонения при двух наработках пар трения.
- Оба эти параметра с увеличением наработки увеличиваются.

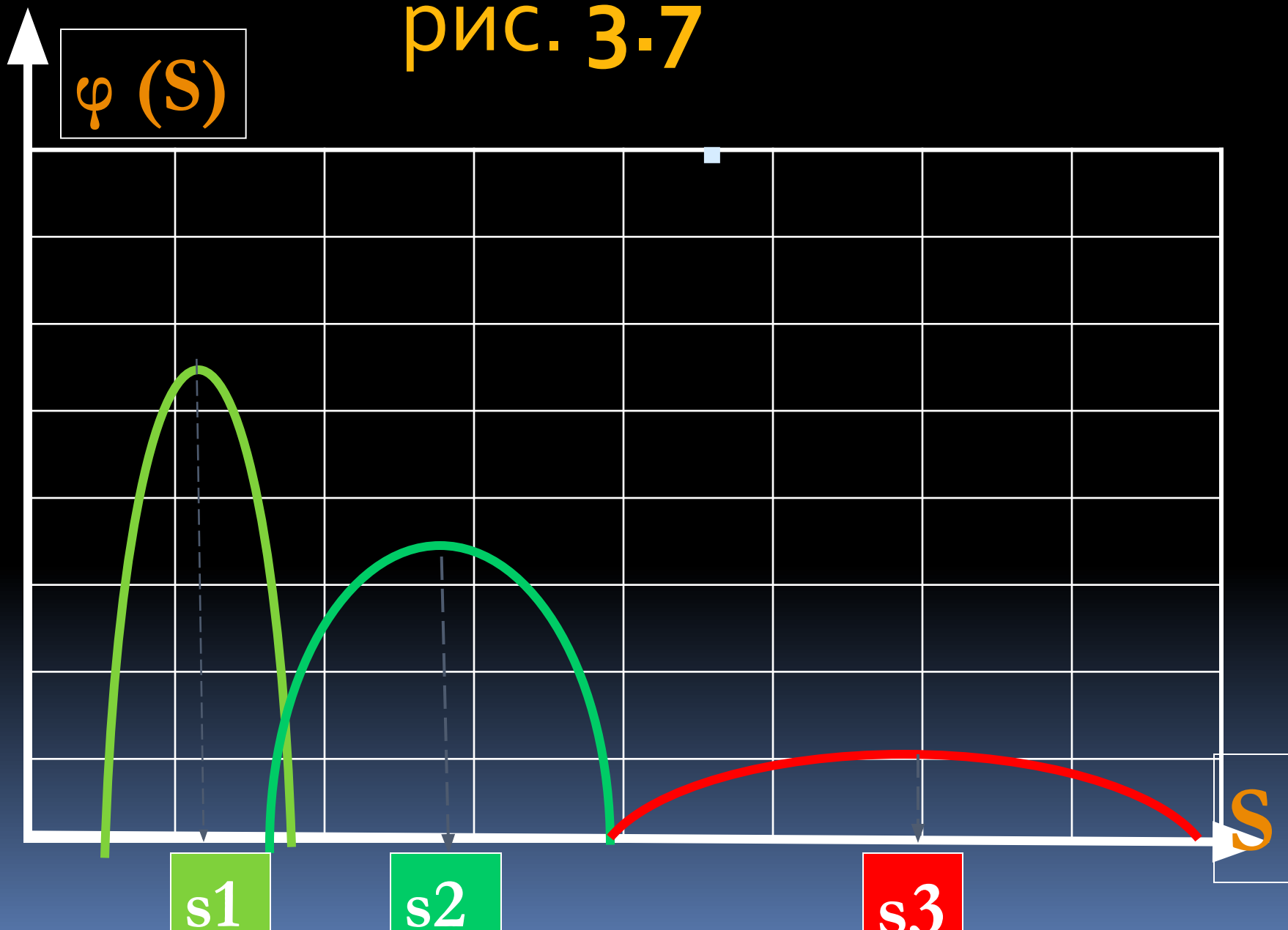
# Это можно

видеть из схемы изменения плотности *распределения* зазоров около среднего значения при *трех* наработках, представленной на рис.

- Средние значения зазоров при наработках  $\tau_1$  и  $\tau_2$   $\tau_3$  соответственно равны  $S_1$  и  $S_2$   $S_3$  а средние квадратические отклонения - .

$$\sigma_1 \text{ и } \sigma_2 \quad \sigma_3$$

рис. 3-7





# При выполнении неравенства

$$\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$$

выполняются два других:

$$S_1 < S_2 < S_3$$

и

$$\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$$

# При окислительном

изнашивании часто отношение **среднего квадратического отклонения** к **среднему значению** зазора остается величиной *постоянной* .

$$\frac{\sigma}{S \cdot const}$$

- Тогда для наработок **t** и **t1** справедливо равенство :

$$\frac{\sigma_1}{S_1} = \frac{\sigma}{S}$$

# В этом случае

числитель дроби в выражении  
(10) становится *равным нулю*,

т.е.  $\delta = 0$  .

- Тогда полученные ранее закономерности *значительно упростятся*.

# Вместо

- равенств (8), (9) и (11) будем соответственно *иметь*:

$$S = S_1 \cdot 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} \quad (12)$$

$$S' = S'_1 \cdot 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} = (S_1 + \beta \sigma_1) \cdot 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}} \quad (13)$$

$$T = \frac{\tau - \tau_1}{\log \frac{S}{S_1}} \quad (14)$$

# На основании

*закономерностей* (8) и (12) можно, зная величину допустимого зазора  $S_{\text{доп}}$ , найти ту *величину* наработки, после **достижения** которой, пары трения будут **отбраковываться** по *величине* зазора.

- Назовем ее наработкой начала *отбраковки*  $t_{\text{отбр.}}$ .

# Из хода кривой 1

на рис. 3.5 видно, что еще в период приработки, величины зазоров в парах трения, собранных с максимальным серийным зазором  $S_{\max}$  и близкими к нему, выйдут за пределы серийного допуска.

# Следовательно,

какая-то доля пар трения будет надежно работать в области установившегося изнашивания при *величинах* зазоров, **превышающих** установленное **максимальное** значение .

- Продолжительность такой работы **равна межремонтному ресурсу** летательного аппарата или авиадвигателя.

# Факт длительной работы

авиационных пар трения при  
величинах зазоров,  
превышающих  $S_{max}$ ,  
*подтверждается их*  
дефектацией в процессе  
ремонта авиационной техники.



# Максимальные величины

зазоров в парах трения,  
выявленных во время дефектации  
при ремонте авиационной техники,  
иногда в несколько раз превышают  
серийное значение  $S_{max}$ ,

- отказов по этой причине не зафиксировано.

**Известно так же,**

что **скорость окислительного изнашивания в процессе**

**приработки уменьшается** (рис.

3.6), **достигая минимума** к началу

**установившегося изнашивания, а**

**выносливость изношенных**

**деталей увеличивается.**

**Поэтому целесообразно**  
приработанные пары трения  
**не разукomплектовывать**  
**и устанавливать с ремонтным**  
**зазором, превышающим**  
**величину максимального**  
**серийного.**

# Необходимо

для этого **узаконить** величину **допустимого** ремонтного зазора и реализовать такое решение в практике ремонта авиационной техники **только** для **неразукмплектовываемых** пар трения, подверженных окислительному изнашиванию.

# Установить величину

ремонтного допуска на зазор можно двумя путями.

- **Во-первых**, за величину допустимого ремонтного зазора для **неразукмплектовываемых** пар трения можно принять сумму
- где  **$S_{\max}$** - максимальный зазор серийного зазора,
- а  **$S_{\text{прир}}$** . величина зазора, накопившегося за счет изнашивания в период приработки.

$$S_{\text{доп}} = S_{\text{max}} + S_{\text{прир}}$$

# Вторым путем

является *расчетный*, базирующийся на знании величины *предельного зазора  $S_{пред}$* .

- Под  *$S_{пред}$*  будем понимать максимальное его значение, при котором изделие (узел, агрегат) **еще выполняет** свои служебные *функции*.

# Скорость изнашивания

после достижения  $S_{пред}$ . резко *увеличивается* (рис. 3.6).

- Следовательно, с целью обеспечения безопасности полетов, ни в одной паре трения нельзя допустить *превышения* величины  $S_{пред}$ .

# Для решения

этой задачи и определения величины **допустимого** ремонтного зазора обратимся к формуле (13), характеризующей верхнюю доверительную **границу** разброса частных *значений* изменения зазоров в парах трения:

$$S' = S'_1 \cdot 10^{\frac{\tau - \tau_1}{T}}$$



**Напомним,**

что  $S'_1$  означает

*максимальную величину*

**зазора** в исследуемой

совокупности пар трения при

наработке  $t_1$ , а  $S'$  - при

наработке  $t$ .

Если  $t_1$

суммарная наработка пар

трения при *последнем*

ремонте, то к следующему

ремонту она *станет равной*,

$$\tau = \tau_1 + \tau_p$$

- где  $\tau_p$  - межремонтный ресурс.

# Так как

при  $t_1$  максимальный зазор был равен  $S'_1$ , то к моменту  $t_1+t_p$  он увеличится до значения

$$S' = S'_1 \cdot 10^{\frac{\tau_p}{T}}$$

- Пусть к концу выработки последнего межремонтного ресурса величина  $S'$  достигнет предельного значения  $S_{пред}$ .

Тогда

$$S_{пред} = S'_1 \cdot 10^{\frac{\tau_p}{T}}$$

Найденная из этого равенства величина  $S'_1$  по существу является допустимым ремонтным зазором  $S_{дон}$  для **неразукмплектовываемых**

пар трения, удовлетворяющих

условию

$$\delta / S = const$$

$$S_{дон} = S_{пред} \cdot 10^{-\frac{\tau_p}{T}}$$

# Аналогичным образом

для тех пар трения, у которых равенство  $\delta / S = const$  не выполняется, будем иметь:

$$S_{доп} = (S_{пред} + \delta) 10^{\frac{\tau_p}{T}} - \delta$$

# Зная величину $S_{доп.}$ ,

можно найти ту **суммарную** наработку, после достижения которой начнется **отбраковка** деталей по **величине** зазора.

- Подставив в равенства (9) и (13) величину  $S'_1$ , соответствующую наработке  $t_1$  и значение  $S_{доп.}$ , нетрудно получить

$$\tau_{отбр} = T \log \frac{S_{доп} + \delta}{S'_1 + \delta} + \tau_1$$

$$\tau_{отбр} = T' \log \frac{S_{доп}}{S'_1} + \tau_1$$

- Последняя формула справедлива для той совокупности пар трения, для которой выполняется равенство  $\sigma / S = const$  а предпоследняя - для которой не выполняется.

# При увеличении наработки

*максимальная* величина зазора  $S'$ , определяемая формулами (9) и (13), увеличивается.

- При некоторой наработке величина зазора, соответствующая **верхней доверительной** границе, достигнет *предельного* значения  $S_{пред}$ .



# В ЭТОТ МОМЕНТ

хотя бы в *одной* из всей совокупности эксплуатирующихся пар трения **возможно** достижение предельного зазора, превышение которого **недопустимо**.

- Современные *средства* исследования **не позволяют** установить, на *каком* бортовом номере летательного аппарата это может произойти .

# Поэтому

в этот момент следует  
прекратить эксплуатацию всех  
летательных аппаратов и  
принять меры по  
восстановлению их  
*надёжности.*

# На основании

указанных равенств, по аналогии  
с предыдущим, получим

$$\tau_{пред} = T \log \frac{S_{пред} + \delta}{S'_1 + \delta} + \tau_1$$

$$\tau_{пред} = T \log \frac{S_{пред}}{S'_1} + \tau_1$$

# Для проведения расчетов

по изложенной методике необходимо иметь **наиболее полный статистический материал** при **двух значениях наработки** в период установившегося изнашивания.

- **Измерениям** должны быть подвергнуты все детали пар трения **независимо** от причины их наработки

- .

# Эти детали

могут быть забракованы по причинам, не связанным с их износом.

- Например, детали отбракованы из-за *коррозионного* поражения или наличия усталостных трещин.

# Для получения

наиболее полных данных,  
обеспечивающих высокую точность  
прогноза изнашивания,  
забракованные по другим  
признакам детали должны быть  
проверены по методике оценки  
величины их износа.

# Основным условием

корректности исходных материалов, обеспечивающих достаточную точность прогноза, является постоянство:

- конструктивных,
- технологических
- эксплуатационных факторов исследуемых пар трения.