

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.

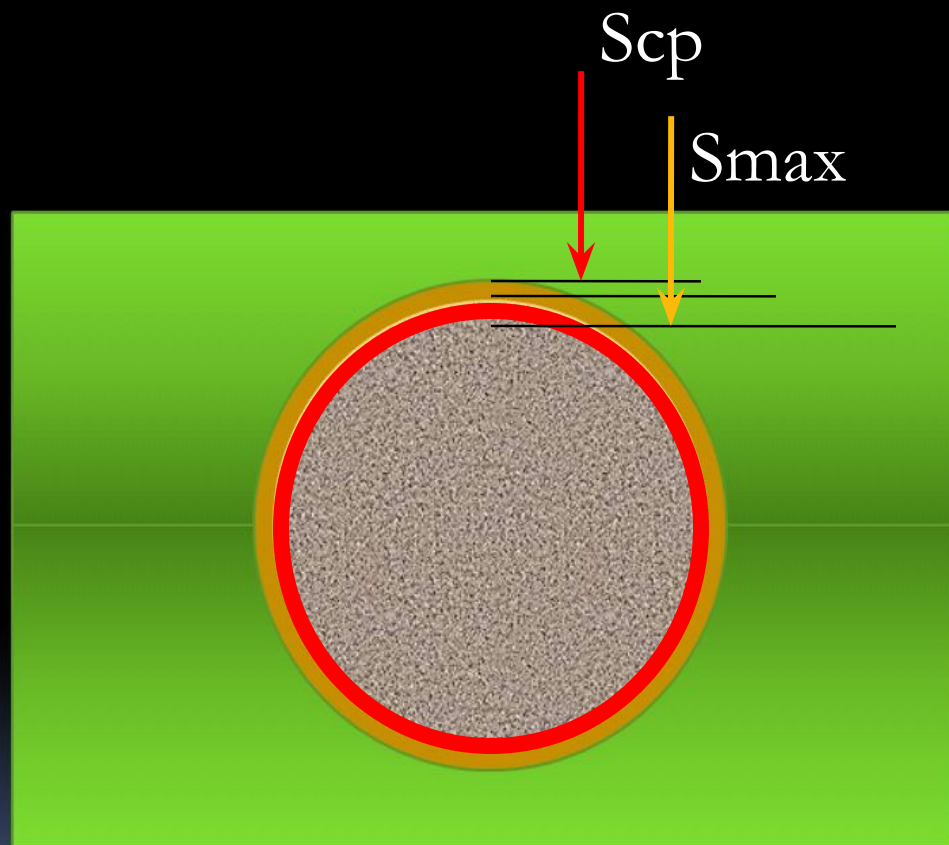
**ОЦЕНИВАНИЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ОКИСЛИТЕЛЬНОГО
ИЗНАШИВАНИЯ**

14/04/2008

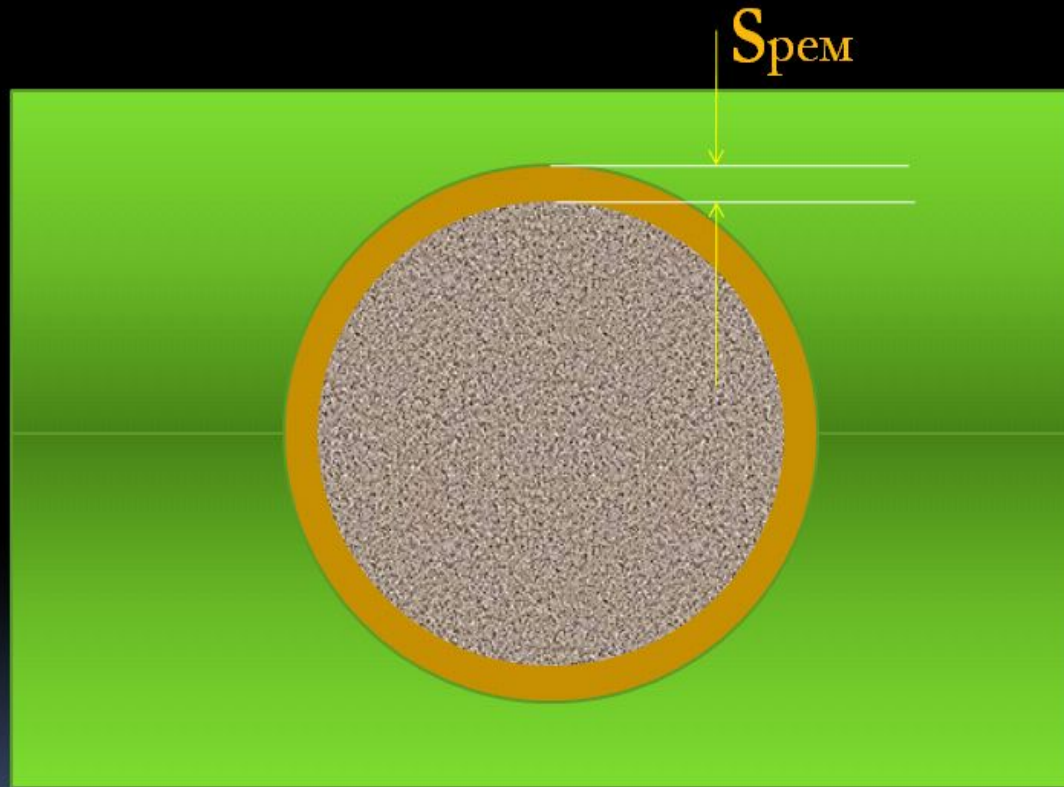
Знание

закономерностей
изнашивания позволяет:

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

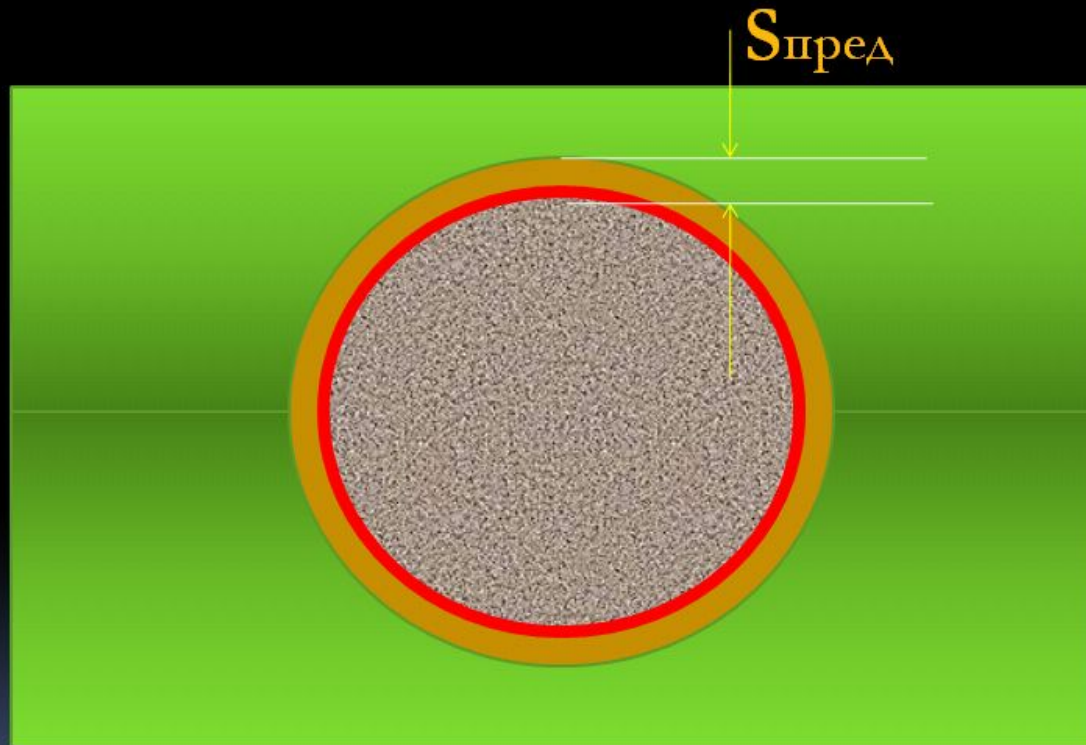


■ УСТАНОВИТЬ



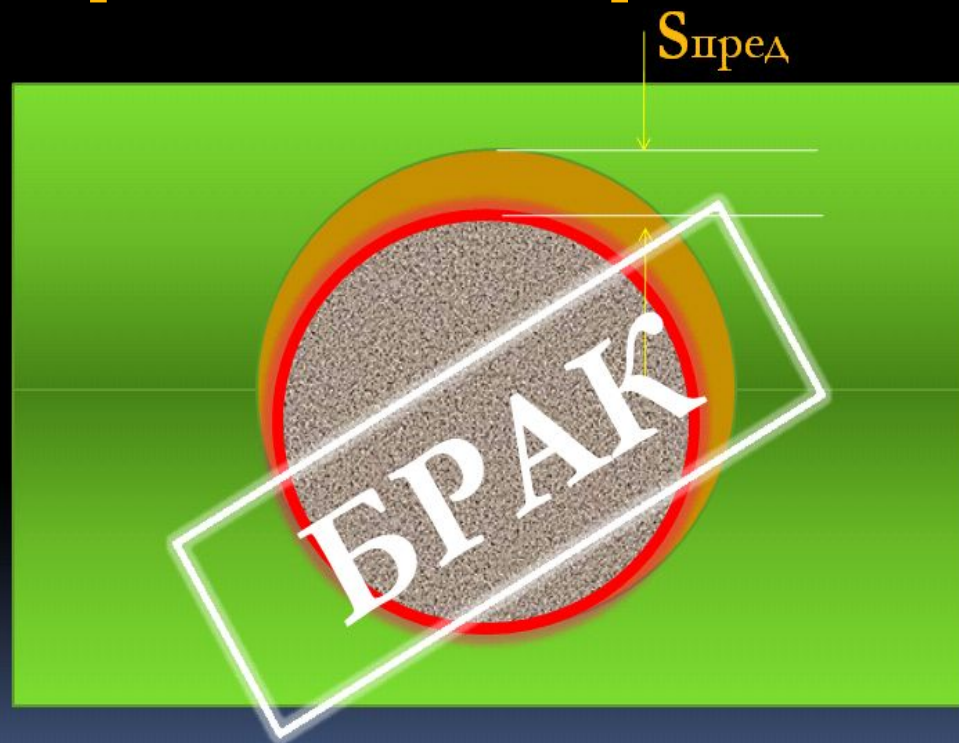
величины ремонтных допусков на зазоры в парах трения,

■ 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 .

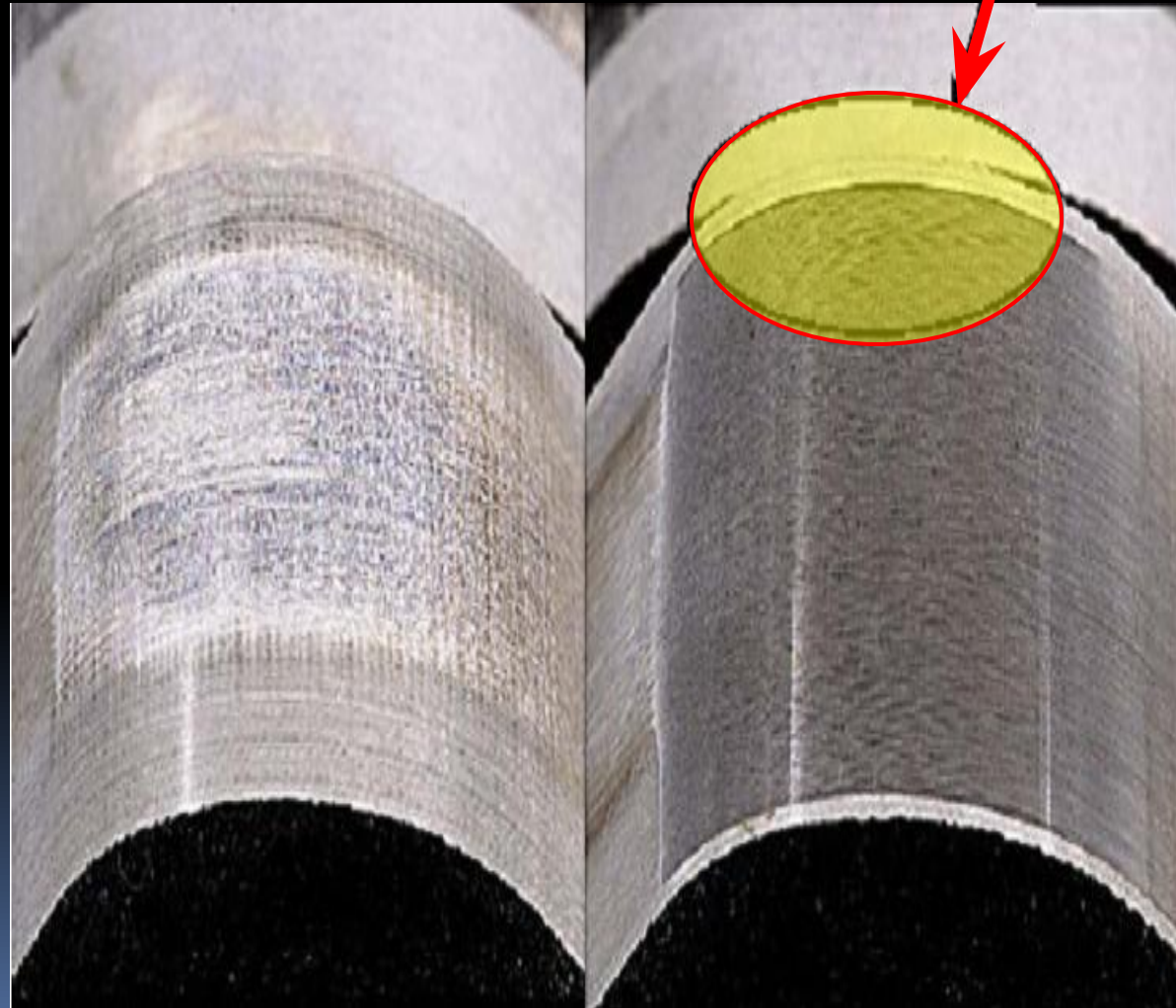
Практически

нет двух абсолютно идентичных пар трения, имеющих:

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

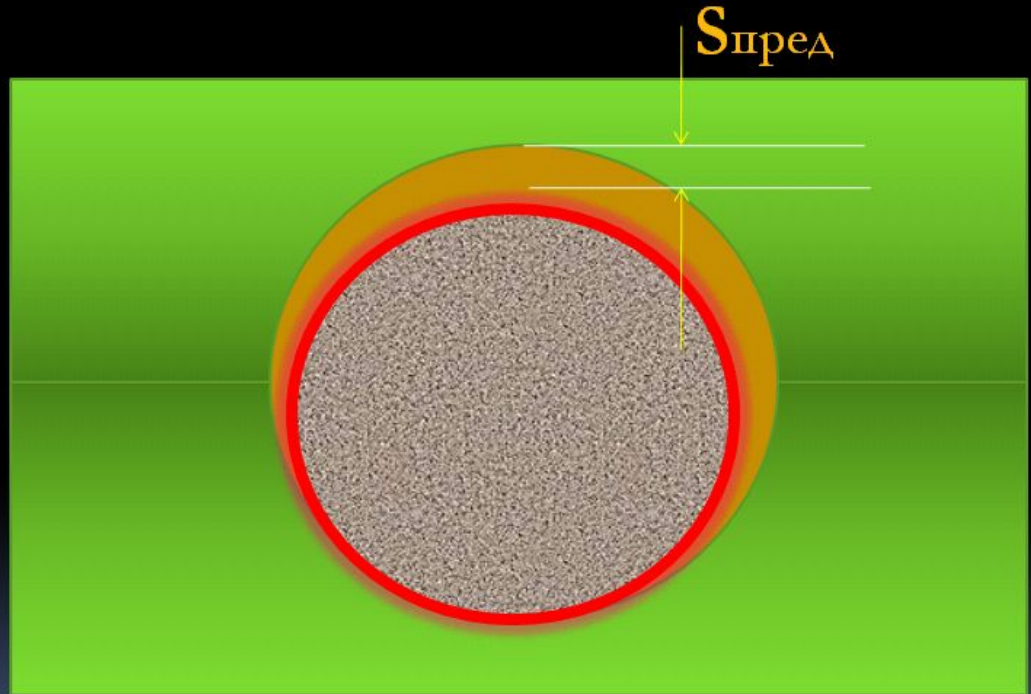
Случайные,

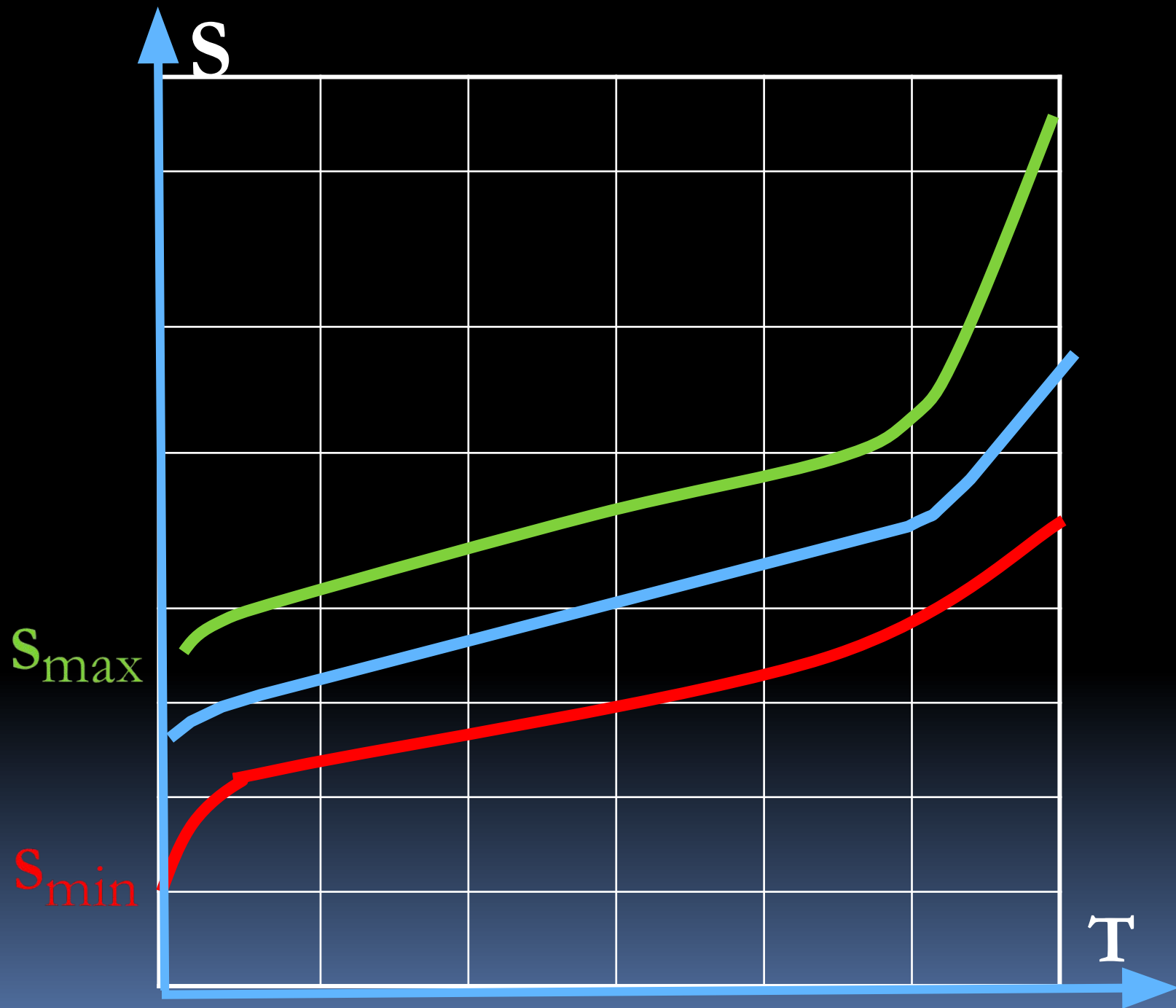
незначительные отклонения перечисленных параметров приводят к *случайным* скоростям и интенсивностям изнашивания.



Изнашивание

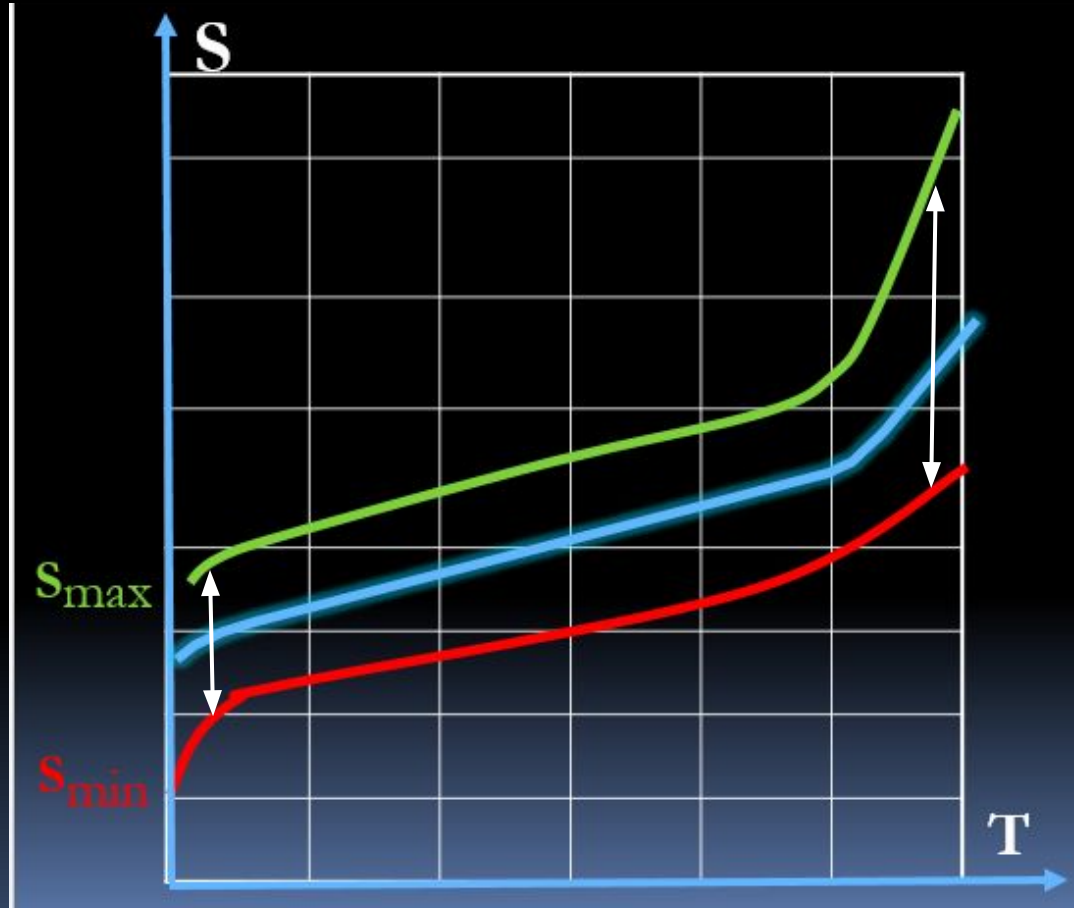
пар трения
наглядно
характеризуется
изменением
зазора S по
наработке t .





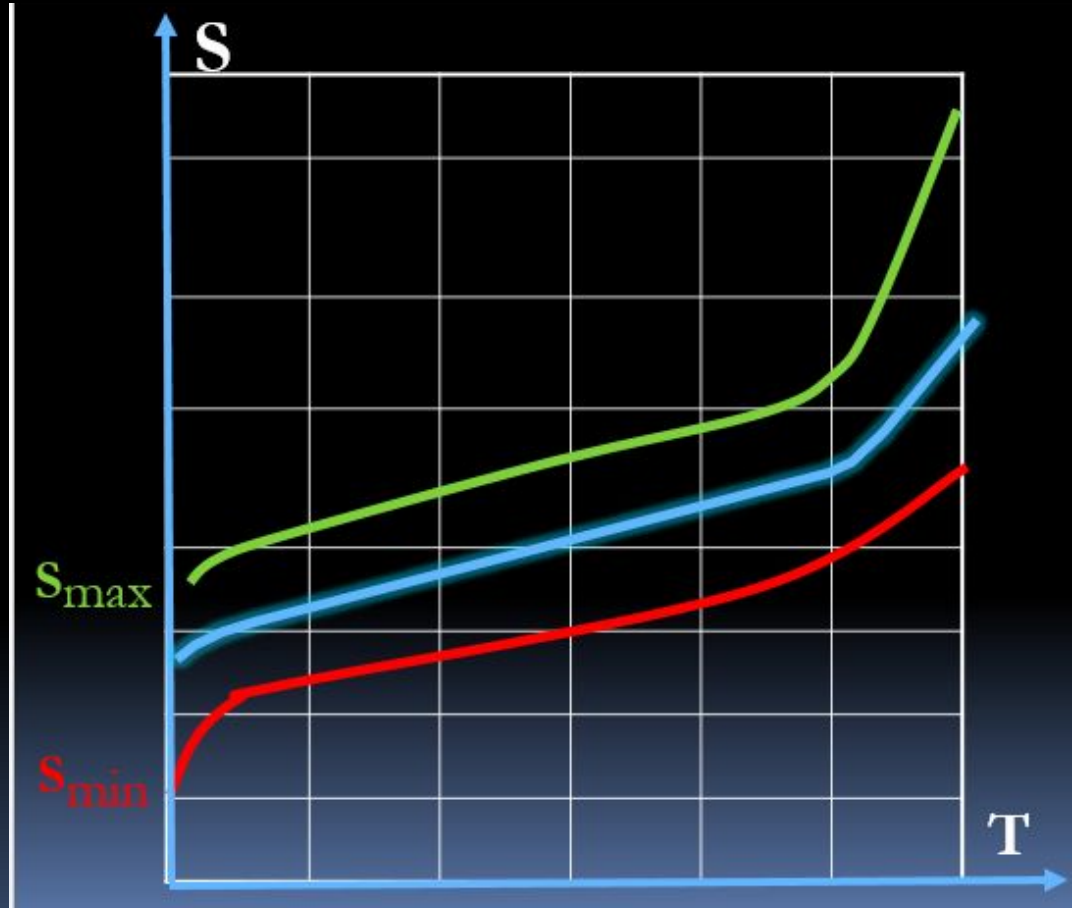
Для каждой

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



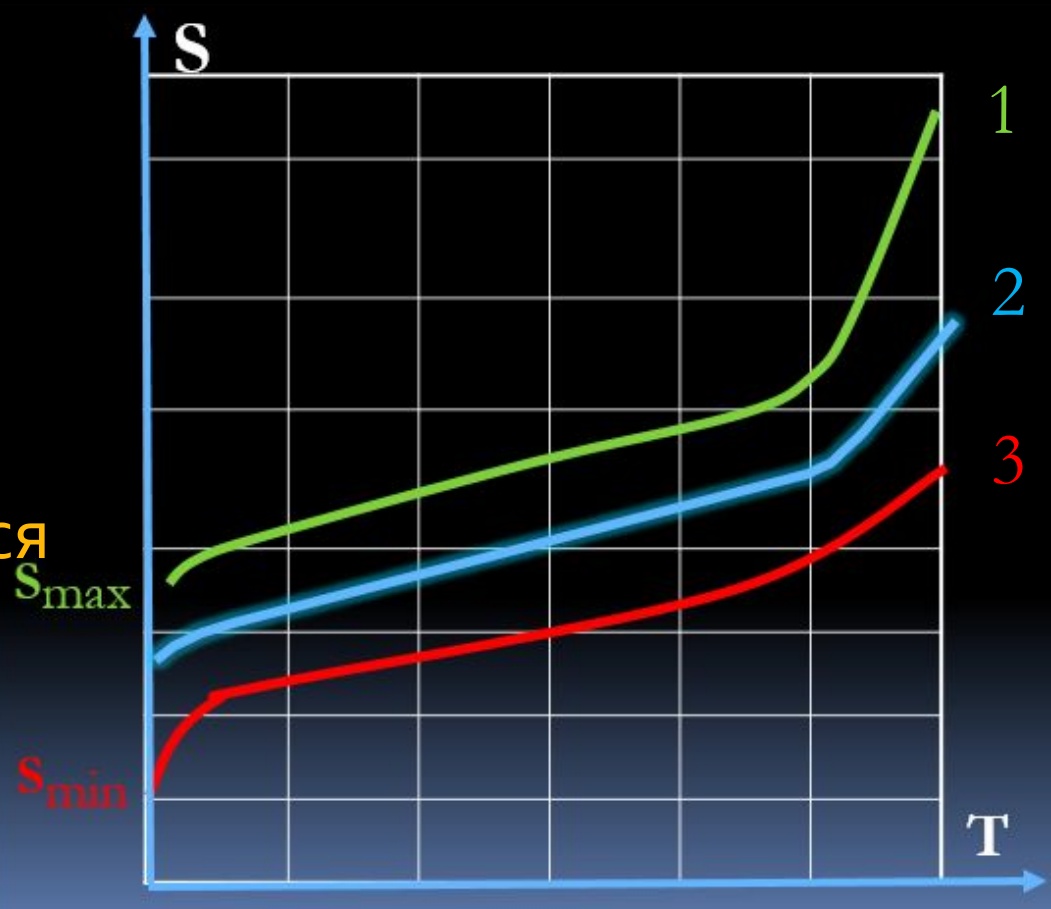
Зазор

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



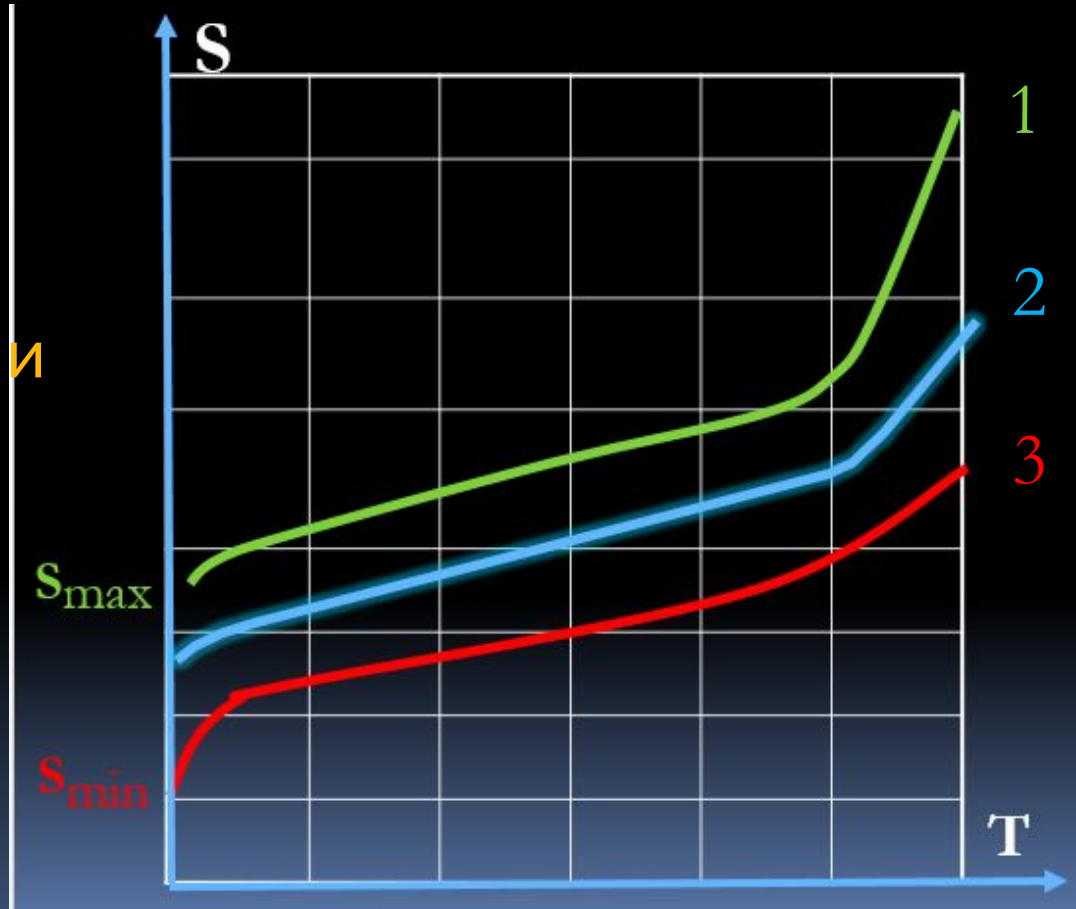
Важно

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



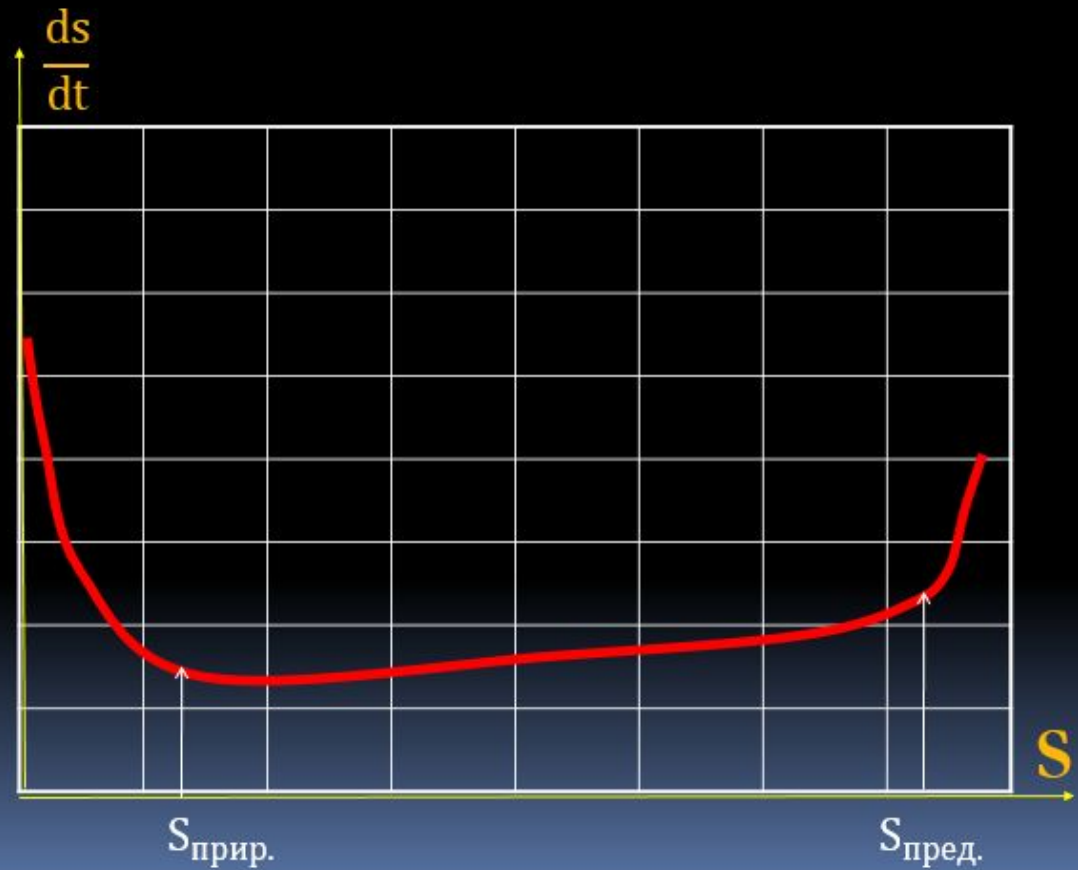
Эти частные

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



На основании

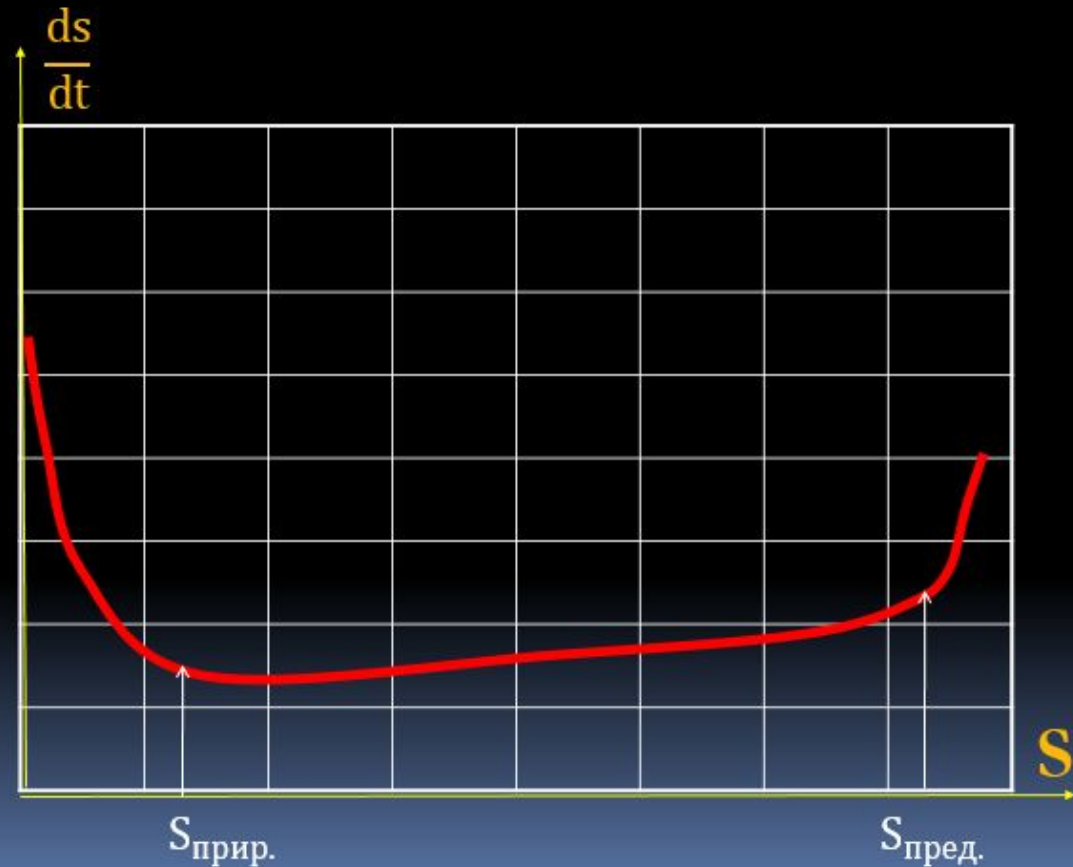
изучения
окислительного
изнашивания
авиационных пар
трения известно, что
скорость
изнашивания
изменяется по **закону**,
схема которого
представлена на рис.
3.6.

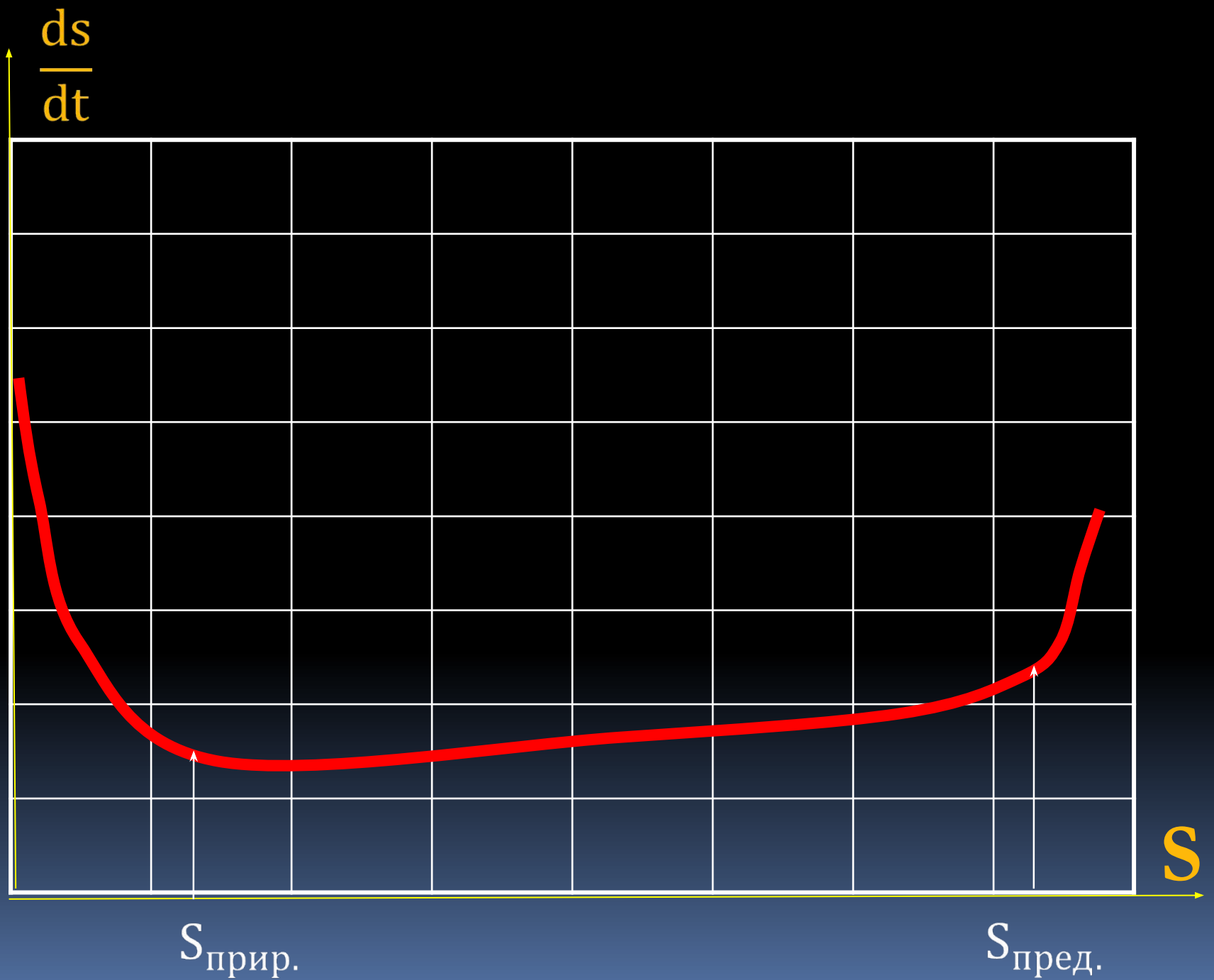


По оси абсцисс

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

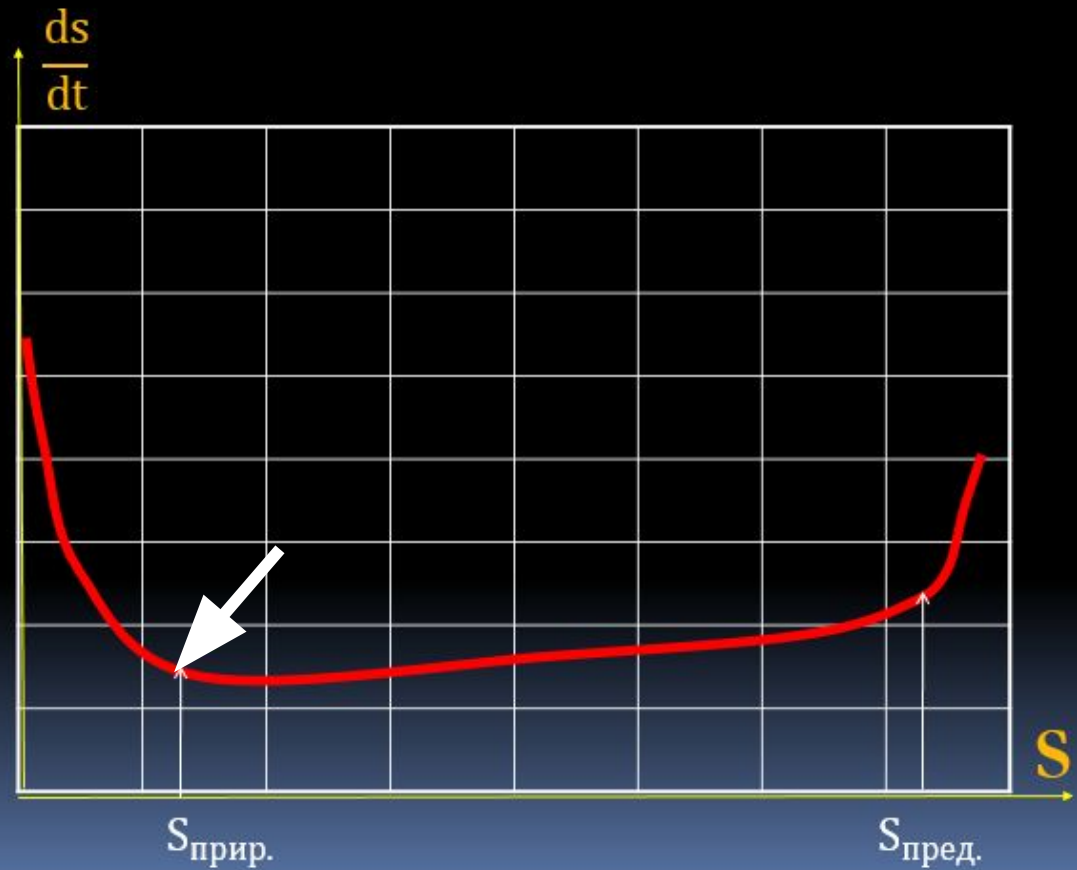
скорость его
изменения при
окислительном
изнашивании.





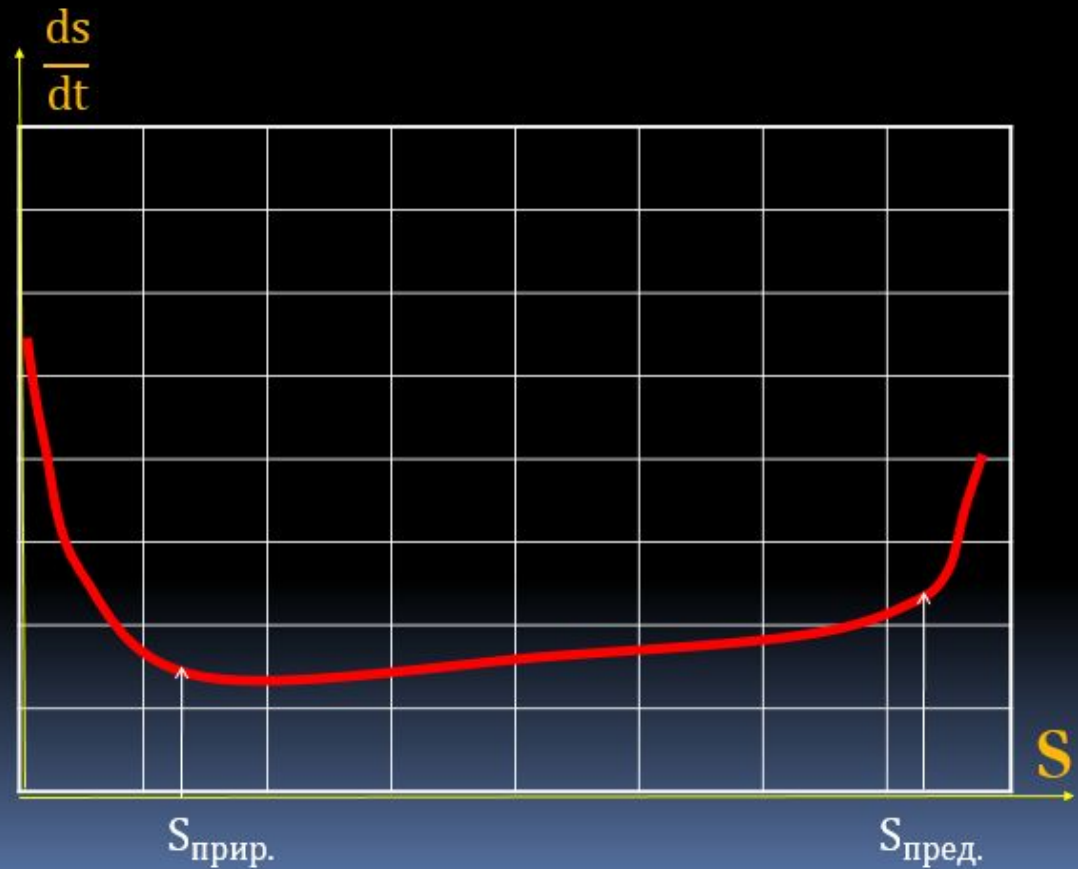
В период

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



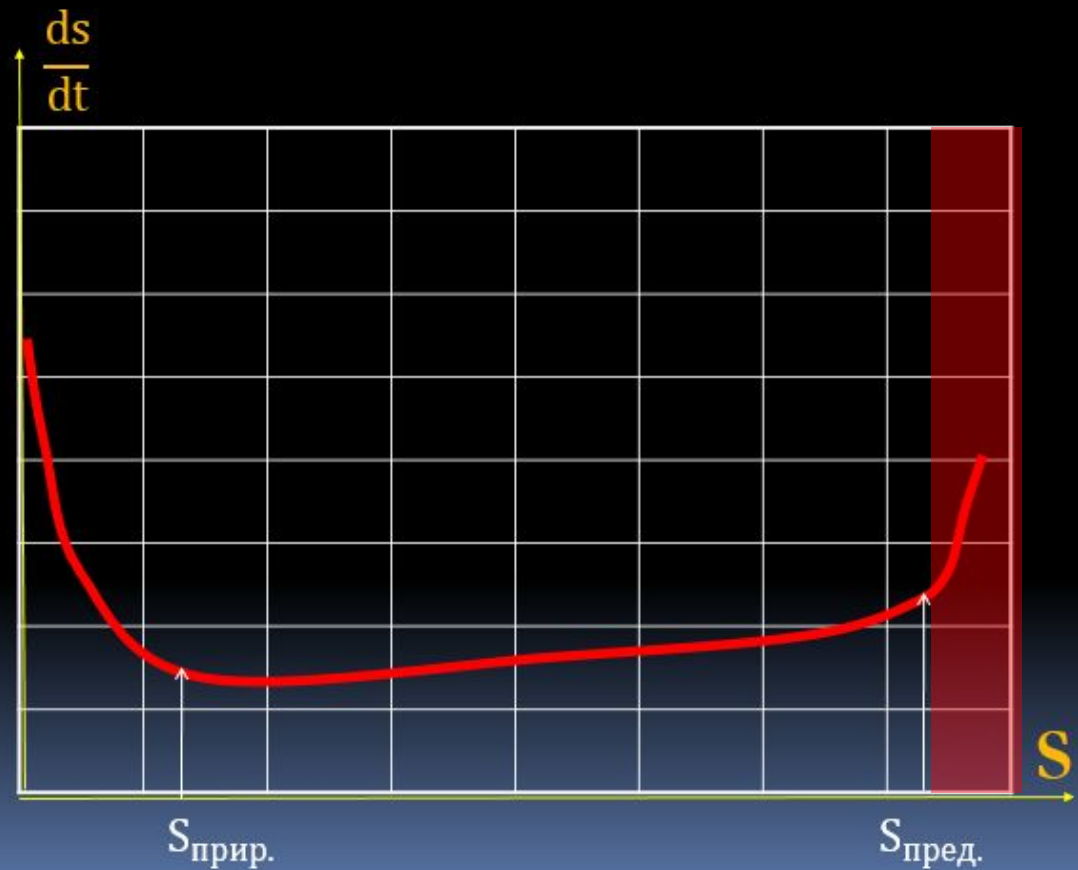
В период

- 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.

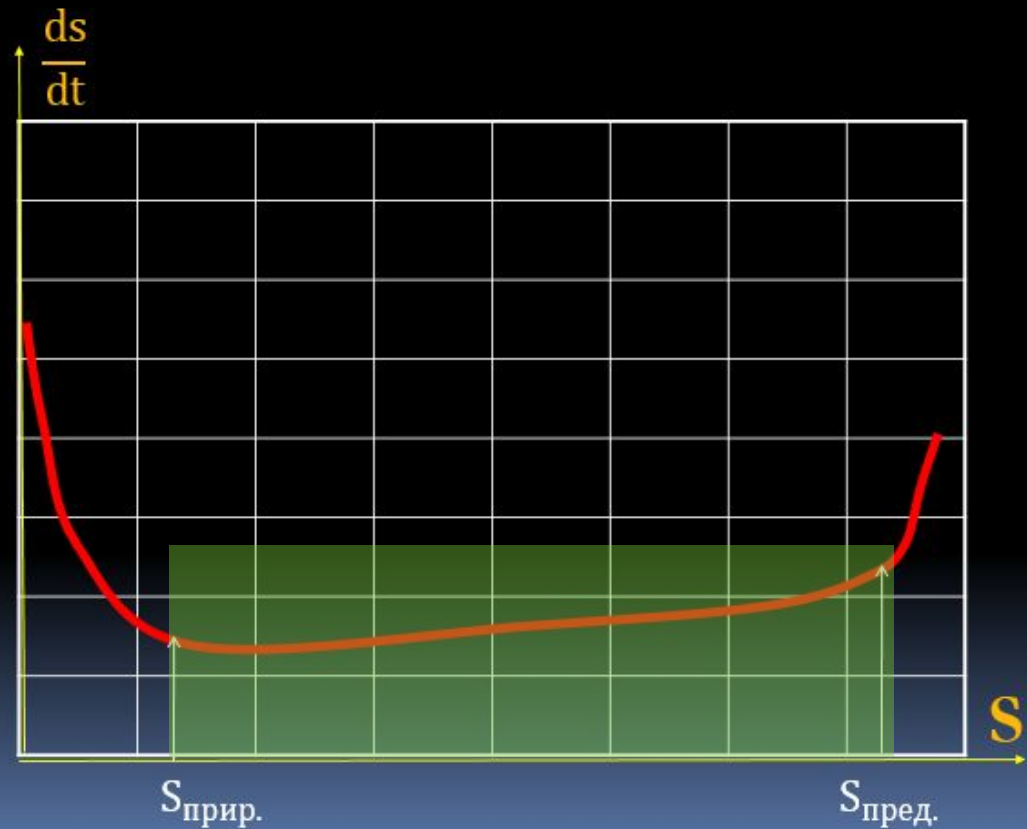


В дальнейших

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 τ_1 до τ и от S_1 до S ,

- где S_1 - величина среднего зазора в момент наработки τ_1 , а S - в момент τ ,

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;
- **β** - коэффициент, **зависящий** от выбранной **доверительной** вероятности;
- **σ_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 **σ** - 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 δ

- 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.

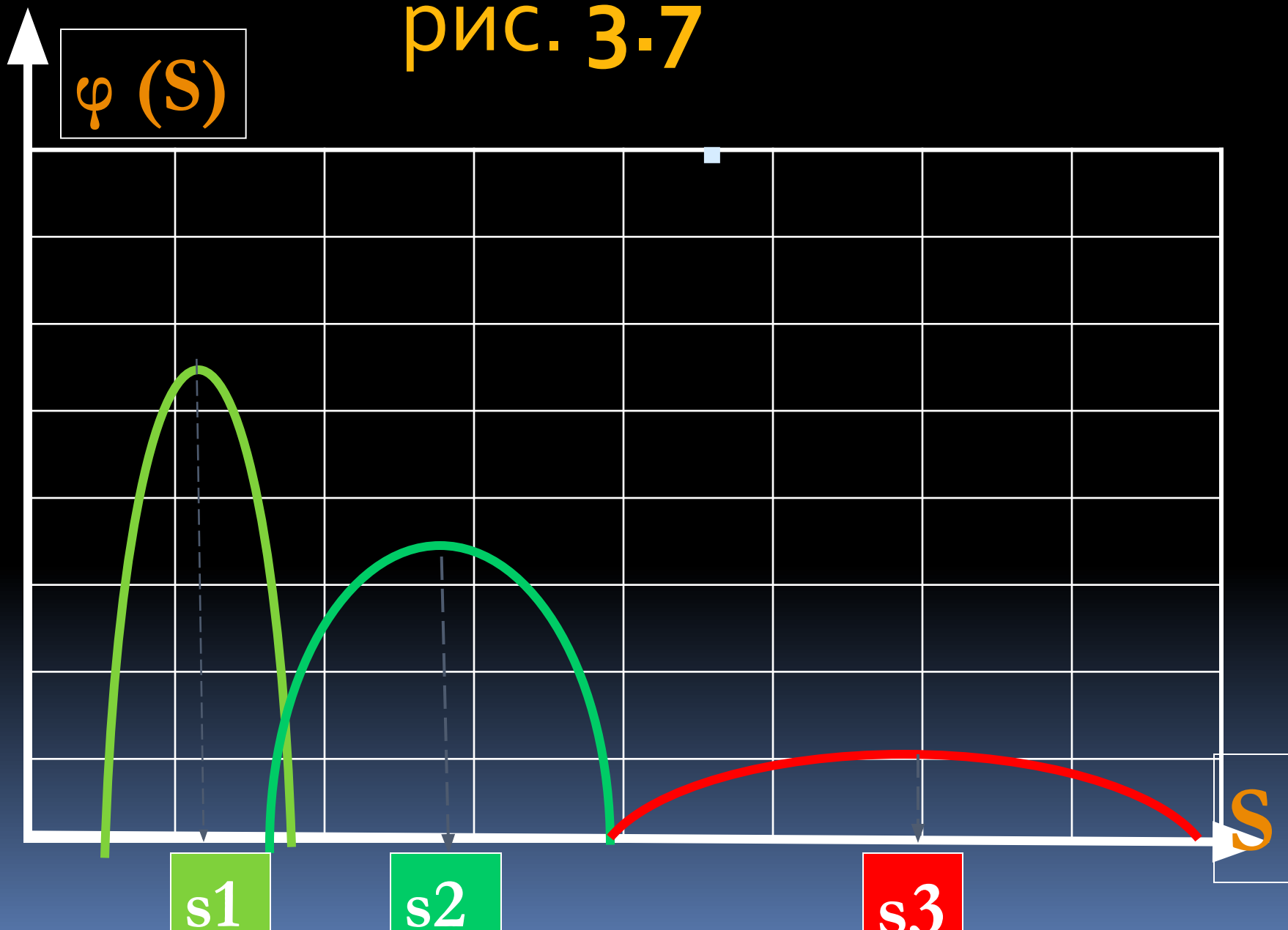
Это можно

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

- Средние значения зазоров при наработках τ_1 и τ_2 τ_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 разукмплектовывать
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 $S_{\text{пред}}$. резко *увеличивается* (рис. 3.6).

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

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 τ_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:

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

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.