

3.2.

Оценивание  
закономерности

и

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**
- **эксплуатационных** факторов
- **носит случайный характер**

# Практически нет

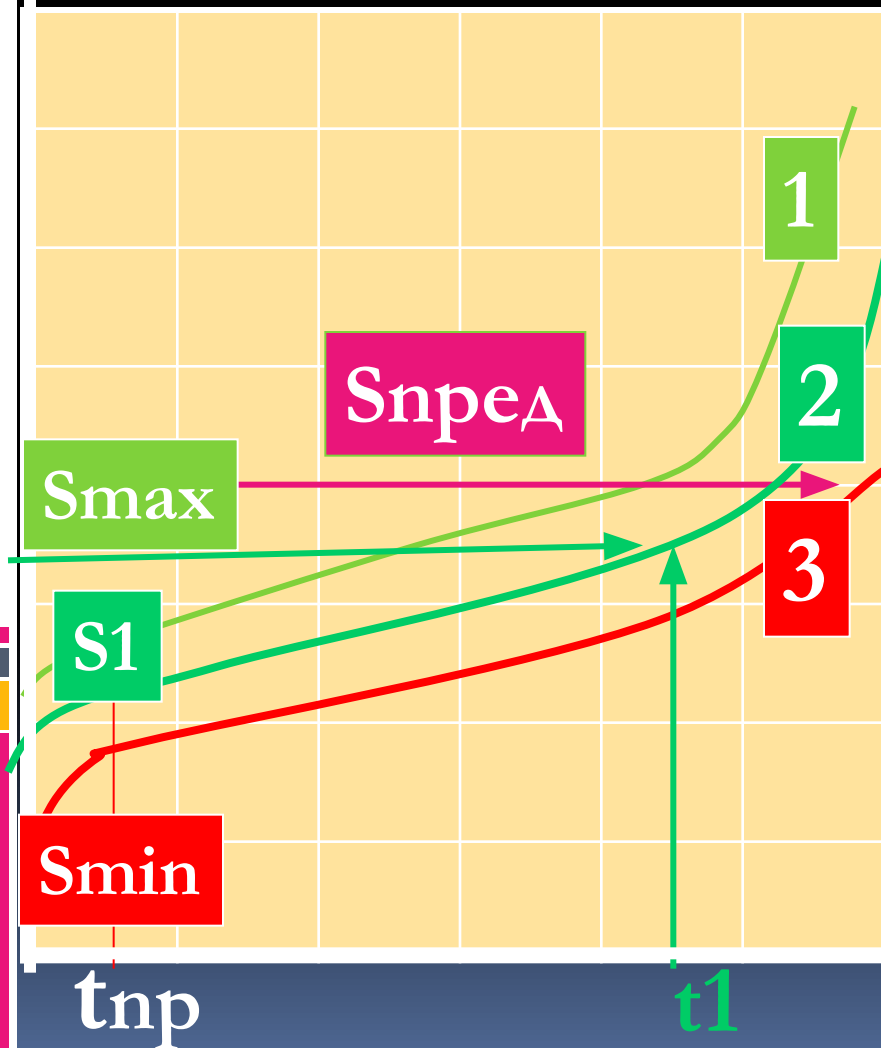
- двух абсолютно идентичных пар трения, имеющих:
- одинаковое **конструктивное** решение,
- **изготовленных** по одной технологии, из одних и тех же материалов
- эксплуатирующихся в **одинаковых условиях.**
- Случайные, незначительные отклонения перечисленных параметров приводят к **случайным скоростям 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  **$S_{max}$** .

(рис. 3-5).

S



- 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.

T

# ВАЖНО ЗНАТЬ ИЗМЕНЕНИЕ

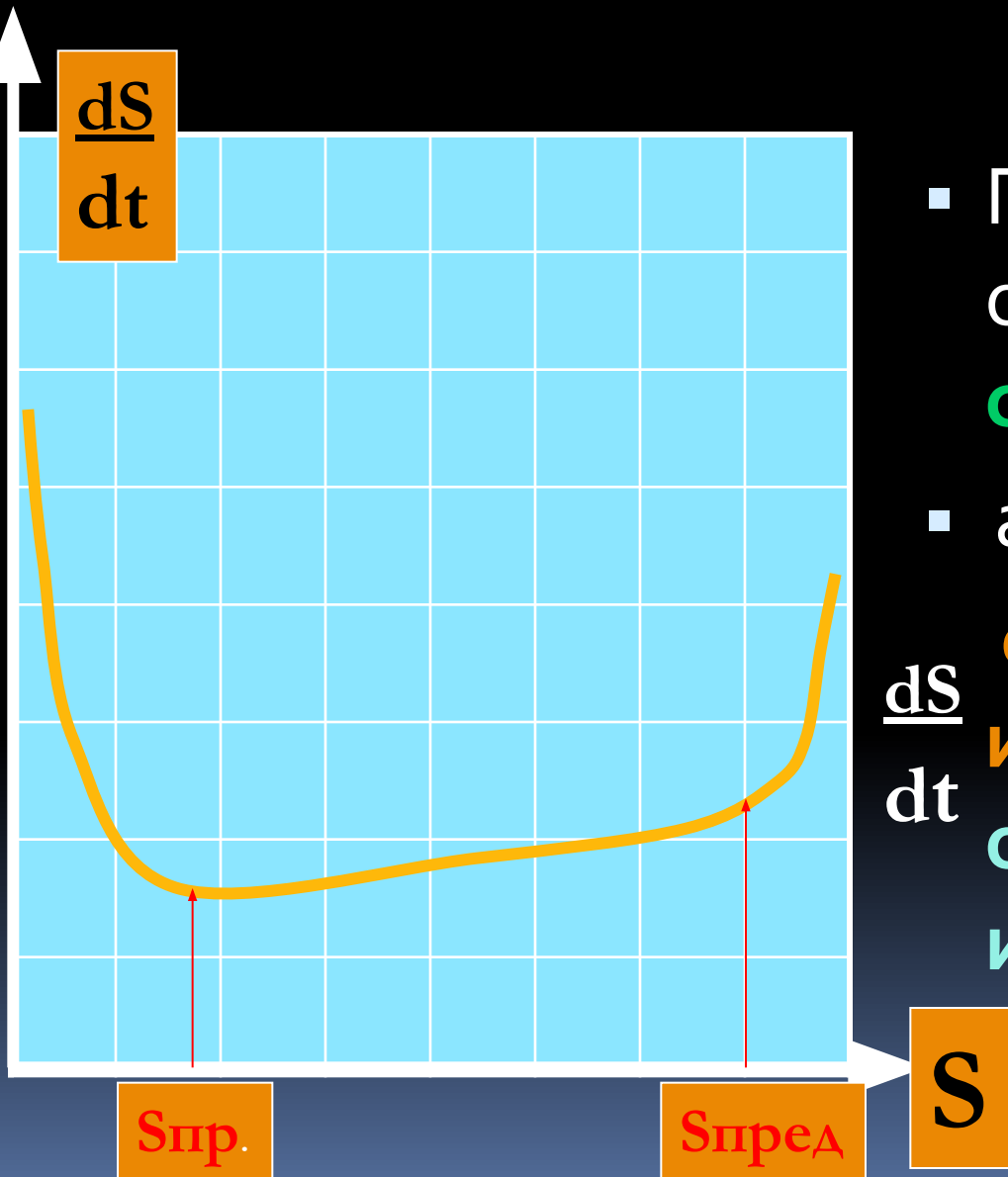
- по наработке среднего зазора, характеризуемого кривой 2 (рис. 3-5), около которого группируются все частные закономерности изнашивания.
- Эти частные случайные закономерности не выходят за верхнюю (кривая 1) и нижнюю (кривая 3) границы.

# Закономерность изменения

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



# 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  $S_{np}$ . скорость изнашивания **постепенно уменьшается**, достигая **минимума при  $S_{np}$** ,
- Где  $S_{np}$ . - величина зазора к моменту **завершения** этого этапа.

## В период установившегося изнашивания

- от  $S_{np}$  до предельного значения зазора  $S_{пред}$ , скорость окислительного изнашивания *постоянна* или изменяется по **линейному закону**.

При достижении предельного

значения зазора  $S_{пред.}$

наступает аварийное

изнашивание,

при котором скорость

резко увеличивается.

# В дальнейших исследованиях

будем изучать только период  
установившегося изнашивания, считая

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

# Преобразуя

последнее равенство **к виду**

- и интегрируя **в пределах от  $t_1$  до  $t$**  и от  **$S_1$  до  $S$** , где  **$S_1$**  - величина **среднего зазора в момент наработки  $t_1$** ,
- а  **$S$**  - в момент  **$t$** ,

# Найдем

- 

- 

откуда

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

- 

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

$$-1 - \delta = \log \frac{1}{C_1} + \delta_1$$



# Введя обозначение

и

- из последнего выражения, найдем ,

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
- 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

- 
- , 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
- 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  $\sigma$ .

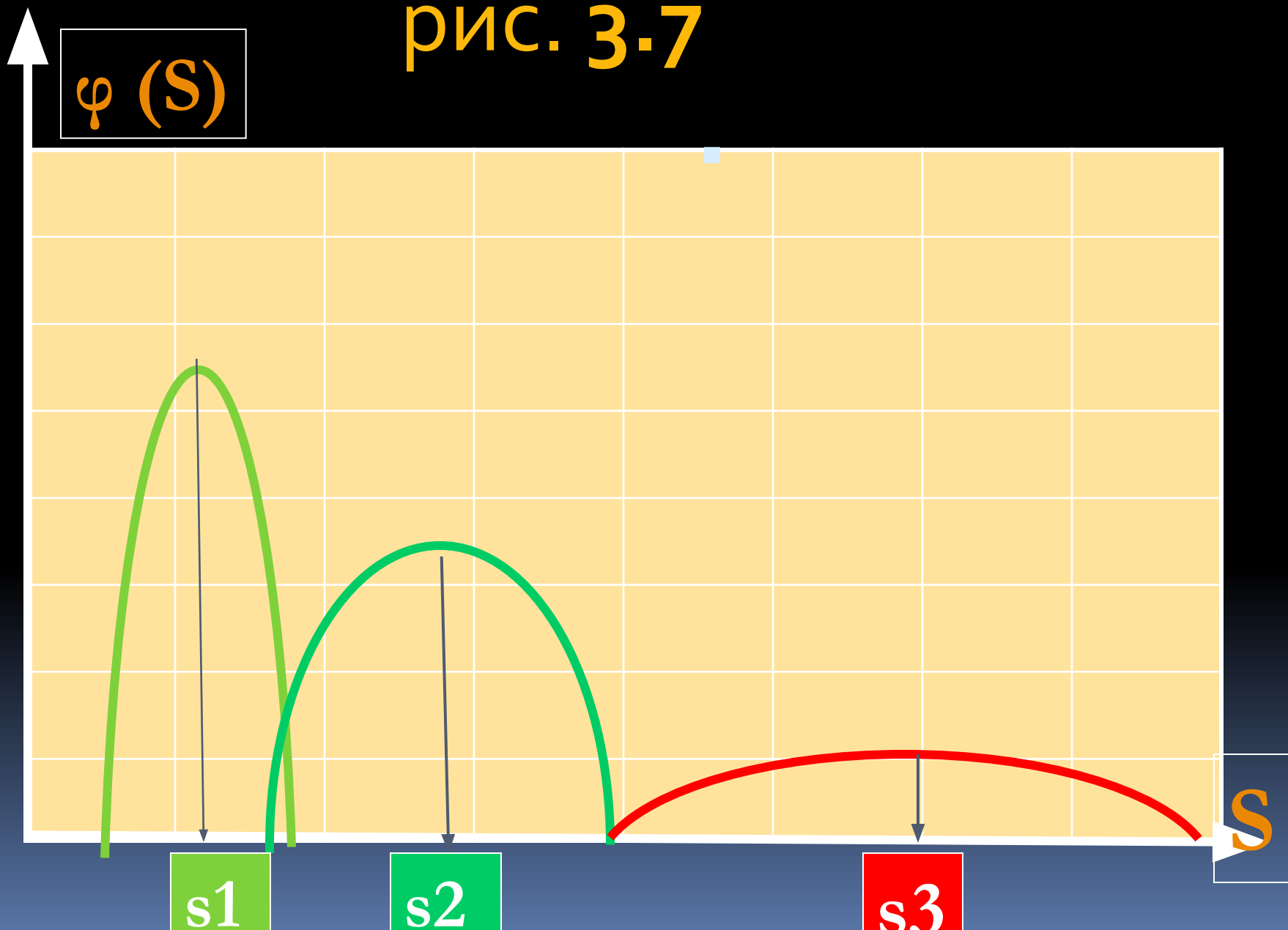
- Для их определения необходимо иметь статистические данные по величине среднего зазора и его среднего квадратического отклонения при двух наработках пар трения.
- Оба эти параметра с увеличением наработки увеличиваются.

# Это можно видеть из схемы

- изменения **плотности** распределения зазоров **около среднего значения** при **трех наработках**, представленной на рис.
- Средние **значения зазоров** при наработках  $t_1, t_2, t_3$  соответственно равны  $S_1, S_2, S_3$  а средние квадратические отклонения - .

$$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$$

рис. 3-7





# При выполнении неравенства

выполняются два других:

и

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

# При **окислительном** изнашивании

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

■

- Тогда для наработок **t** и **t<sub>1</sub>** справедливо равенство :

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

## В этом случае

числитель дроби в выражении (10)

становится **равным нулю**, т.е.

- Тогда **полученные ранее закономерности значительно упростятся.**
- Вместо равенств (8), (9) и (11) будем соответственно **иметь:**

$$\log \frac{S}{S_1}$$

(27)

# На основании

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

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

# 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

- **завароч** 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 -  **$S_{max}$**  максимальное значение серийного зазора,
  - а  **$S_{прир}$**  величина зазора, накопившегося за счет изнашивания **в период приработки**.

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

# Тогда

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 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

- 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**  
**надежности.**

# На основании

- указанных равенств, по аналогии с предыдущим, получим

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

# 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 и
- эксплуатационных факторов исследуемых пар трения.