

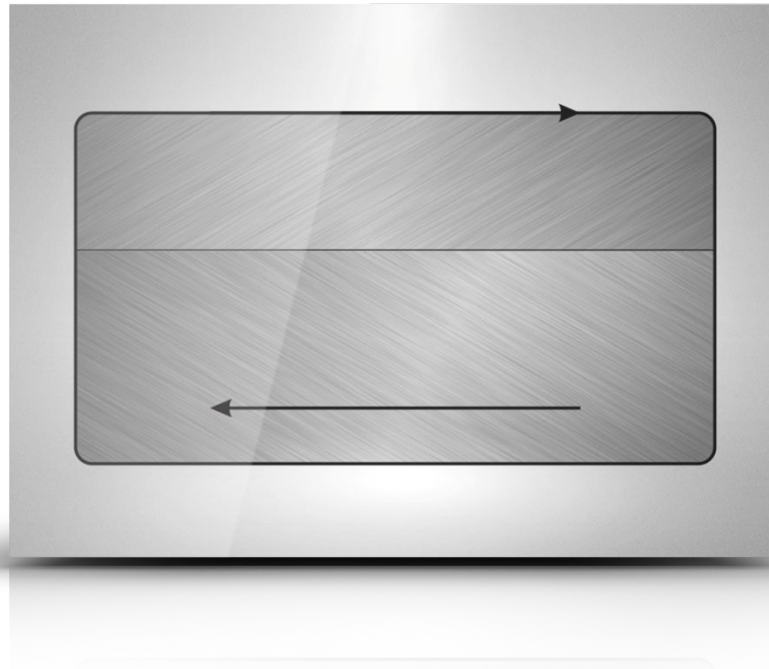
# Введение в трибологию

ДИАГНОСТИКА • ЦЕНТРОВКА • БАЛАНСИРОВКА • АНАЛИЗ МАСЕЛ • КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИИ • ИНСТРУМЕНТ • ПРОВ...

**Трибология -**  
(от греч. tribos-трение и logos-наука) –  
наука о трении.

**Триботехника -**  
техническое применение трибологии.





**Трение** - комплекс явлений в зоне контакта поверхностей двух перемещающихся относительно друг друга тел.

Мерой трения является сопротивление трения (сила трения).

## Последствия трения

### Негативные

- Изнашивание в местах трения
- Возникновение вибраций, поломок, аварий
- Потеря энергии
- Перегрев механизмов

### Позитивные

- При работе ременных, механических передач
- При сцеплении колесного транспорта с основанием (дорога рельсы)
- При соединении деталей



**Потери на трение составляют до 30% потребляемой в мире энергии**



# Основные этапы развития трибологии

**Вторая половина XV века** Леонардо да Винчи – Первые научные изыскания в области трения твердых тел.

**1711 г. – 1765 г.** М.В. Ломоносов – сконструировал прибор для исследования сцеплений между частицами тел «долгим стиранием». Разработал теорию изнашивания материалов.

**1781 г.** Ш. О. Кулон – сформулировал закон сухого трения (скольжения и качения).

**1707 г. – 1783 г.** Л. Эйлер – вывел зависимости о трении гибкой нерастяжимой нити, перекинутой через шкив, используемые при расчете сил трения в элементах с гибкой связью.

**1880 г. -1881 г.** Д.И. Менделеев - разработал научные основы производства смазочных масел из мазута тяжелых кавказских нефтей.

**1883 г.** Н.П.Петров – разработал основы гидродинамической теории смазки.

**1934 г.** Б.В. Дерягин – развил представления о молекулярном механизме процессы внешнего трения, предложив свой вариант двучленного закона трения.

**1939 г.** А. М. Эртель – разработал основы гидродинамической теории смазки.

**1962 г.** Н.Б. Демкин – разработал учение о реальных площадях касания.

**1965 г.** Д.Н. Гаркунов и И.В. Крагельский – открыли эффект избирательного переноса, использование которого позволяет значительно улучшить фрикционно-износных характеристик некоторых пар трения при граничной смазке.

**1976 г.** Б.И. Костецкий и его ученики – в книге «Поверхностная прочность материалов при трении» обобщили работы по изучению процессов трения и поверхностного разрушения и по вопросам образования вторичных структур при трении в условиях граничной смазки.

# Основные направления исследований в области трибологии

- **Структурные аспекты разрушения поверхности при трении.**

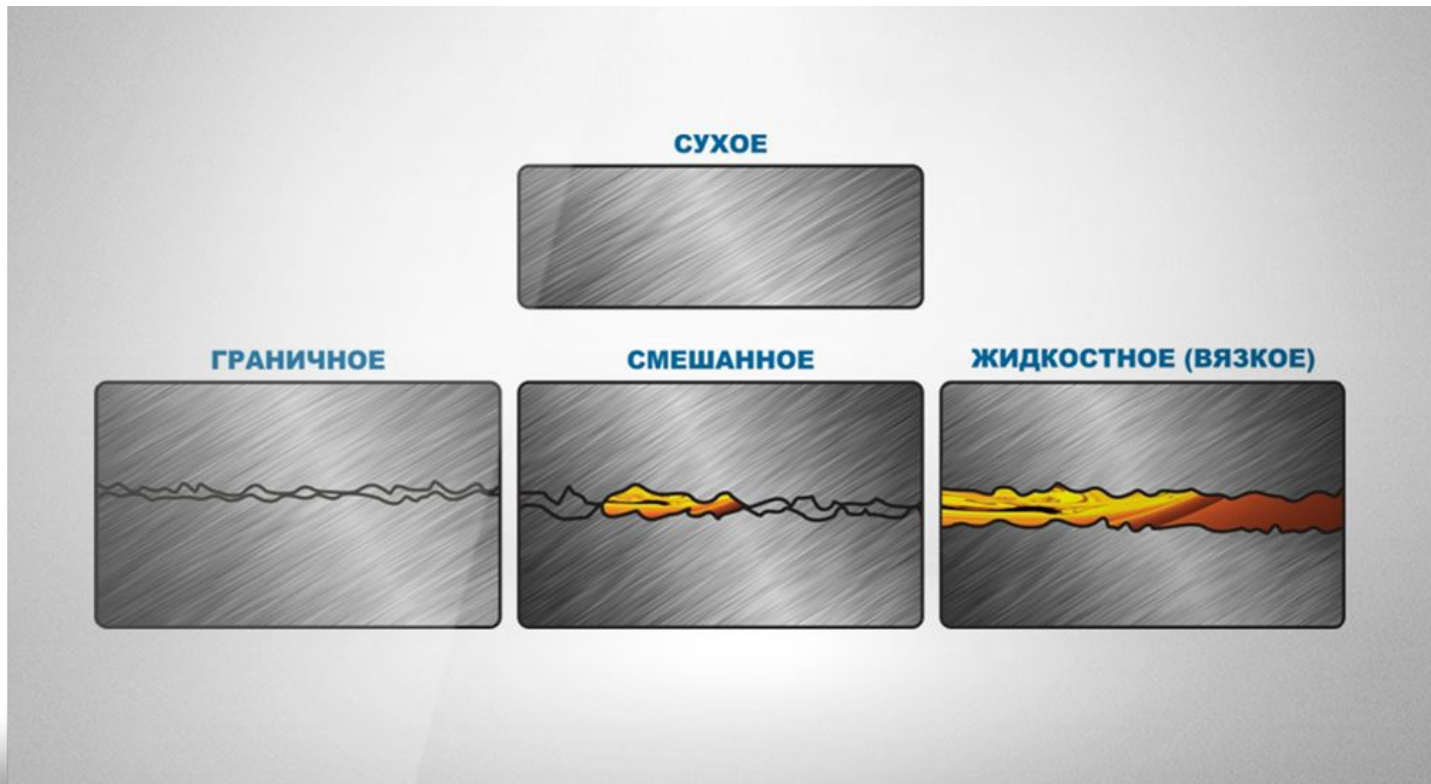
Исследования эволюции структуры приповерхностных объемов, приводящей к отделению частиц износа, которые сделают понимание процессов трения более полным.

- **Анализ возможных моделей процесса изнашивания.**

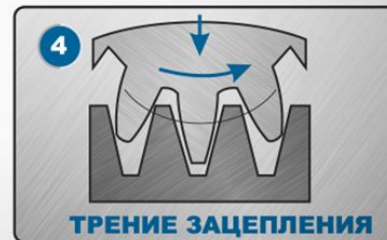
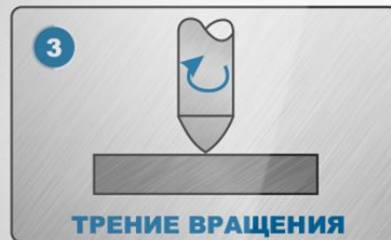
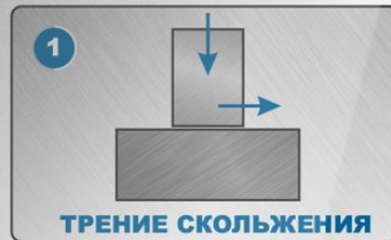
Чтобы предотвратить поверхностное разрушение при трении, необходимо знать причины отделения частиц износа.

- Изучение возможности прогнозирования износостойкости по стандартным характеристикам механических свойств и особенно по критериям вязкости разрушения (трещиностойкости).

# Виды трения (по типу движения)



# Виды трения (по типу взаимодействия)



**5** **ТРЕНИЕ ПОКОЯ**  
трение двух тел при микроперемещениях  
без макроперемещения (по ГОСТ 27674-88)

**2** без макроперемещения (по ГОСТ 27674-88)  
трение двух тел при микроперемещениях  
**ТРЕНИЕ ПОКОЯ**





# Основные понятия и законы трения

Уравнение Амонтова-Кулона

$$F = \mu * N \quad (1),$$

где  $F$  – сила трения скольжения;  
 $N$  – нормальное усилие.

*Коэффициент трения  $\mu$*  - зависит от вида трущихся материалов и качества обработки их поверхностей.

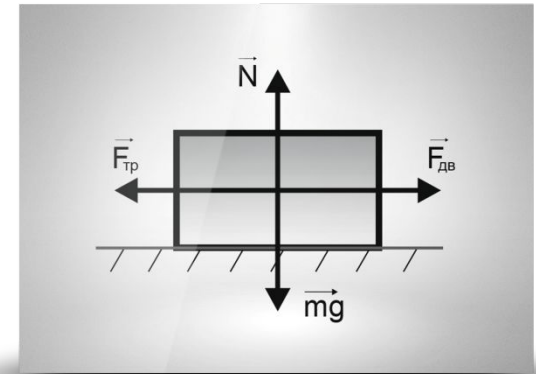
Для трения качения:

$$F_{\text{кач}} = \mu_{\text{кач}} * N / r \quad (2),$$

где  $F_{\text{кач}}$  – сила трения качения;  
 $N$  – нормальное усилие;  
 $r$  – радиус колеса.

Обычно

$$\mu > \mu_{\text{кач}} \quad (3).$$



## Виды трения:

- 1) Трение скольжения
- 2) Трение покоя
- 3) Трение качения

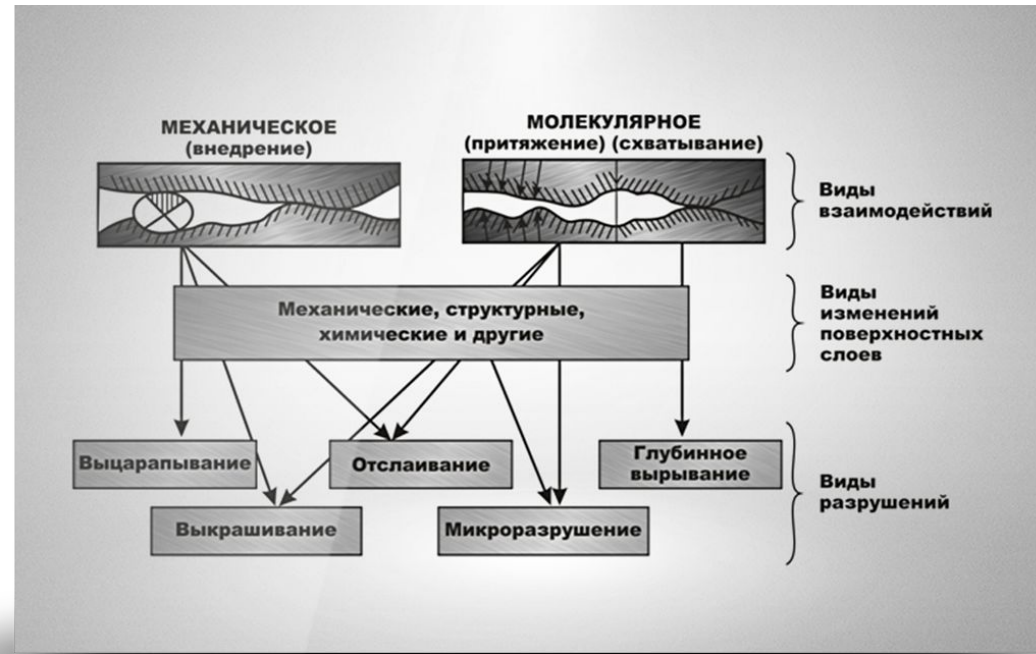


# Молекулярно-механическая теория трения

$$F = F_A + F_{\Delta} \quad (4),$$

где  $F_A$  – молекулярная (адгезионная) сила трения,

$F_{\Delta}$  – механическая (деформационная) сила трения.



Классификация видов изнашивания при сухом и граничном трениях (по И.В. Крагельскому).

## Изнашивание и его виды

Под **изнашиванием** мы понимается процесс образования различных необратимых изменений в материале деталей и в их защитных покрытиях в результате комплексного воздействия внешней среды и силовых факторов. ГОСТ 23.002-78 устанавливает 13 видов изнашивания:

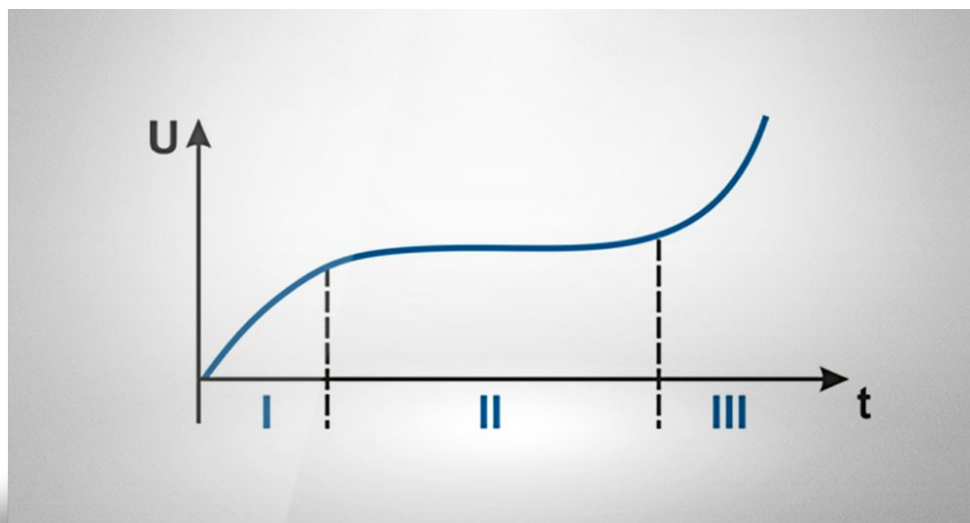
- Механическое
- Абразивное
- Окислительное, коррозия, коррозионно-механическое, фреттинг-коррозия
- Кавитационное
- Эрозионное
- Усталостное
- Заедание
- Пластическая деформация и др.



Изнашивание характеризуется величиной износа, скоростью и интенсивностью.

## Зависимость износа от времени

**Износ** (естественный износ) это результат процесса изнашивания, который проявляется во внешних изменениях детали (форма, размеры, вид) и во внутренних изменениях, связанных со структурой материала детали и ухудшением механических свойств.



I - приработка; II - установившийся режим; III - катастрофический износ

# Роль смазочного материала при трении

Действие смазочного материала, состоящее в уменьшении силы трения и износа называют **смазкой**.

Функции смазочного материала в механизмах современных машин следующие:

- 1) контроль трения, благодаря разделению движущихся поверхностей;
- 2) уменьшение износа;
- 3) температурный контроль, т.к. поглощает и переносит тепло;
- 4) защита деталей от коррозионного воздействия внешней среды;
- 5) удаление продуктов износа из зоны трения в фильтры/сепараторы.

$$F = \mu Av / h$$

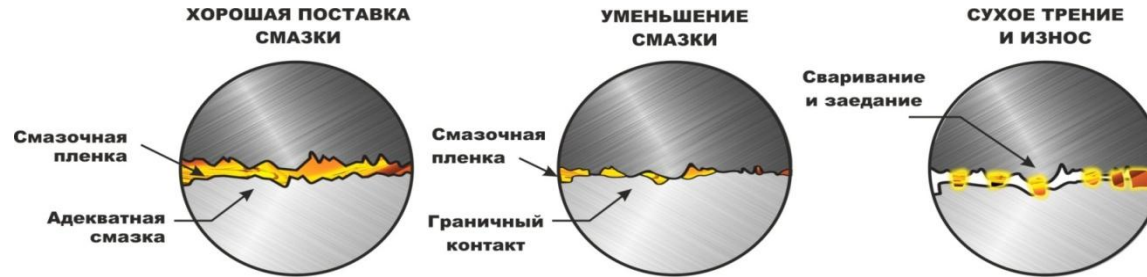
(5),

где F – сила трения скольжения,  
 $\mu$  - динамическая вязкость смазочного материала ,  
 A – площадь поверхности скольжения,  
 v - относительная скорость скольжения тел,  
 h - толщина слоя смазочного материала.

Более **100 млн. т смазочных материалов** ежегодно расходуется в мире.



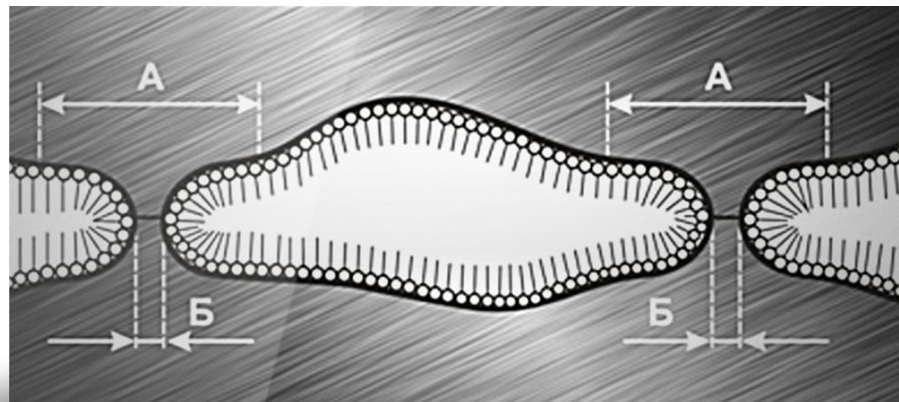
# Роль смазочного материала при трении



- I – Граничная смазка
- II – Смешанный режим
- III – Гидродинамический режим



## Смазка при граничном трении



**Работоспособность граничного слоя масла не зависит от его вязкости, а определяется взаимодействием молекулярной пленки масла с трущейся поверхностью металла.**

**На толщину и прочность граничного слоя масла влияет:**

- химический состав масла и входящих в него присадок,
- химическая структура деталей (например, баббитовые или алюминиевые вкладыши коленчатого вала),
- состояние поверхности трения (шлифование или суперфиниширование).



Наличие граничного слоя или пленки снижает силы трения по сравнению с трением без смазочного материала в 2-10 раз и уменьшает износ сопряженных поверхностей в сотни раз.

# Типы молекулярных пленок масла

## Адсорбированные

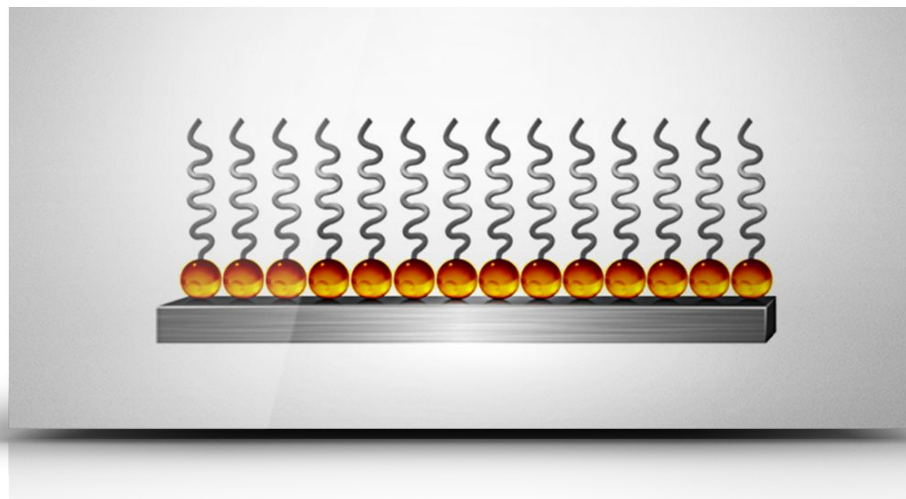


**Имеют физическую природу.**  
 Образуются благодаря наличию  
 в смазочных материалах  
 поверхностно - активных веществ (ПАВ),  
 несущих электрический заряд.

## Хемосорбированные



**Имеют химическую природу.**  
 Образуются благодаря наличию  
 в смазочных материалах  
 соответствующих химических элементов:  
 фосфатов, хлоридов или сульфидов.





## Смазка при жидкостном трении

Устойчивость смазочного слоя зависит от следующих факторов:

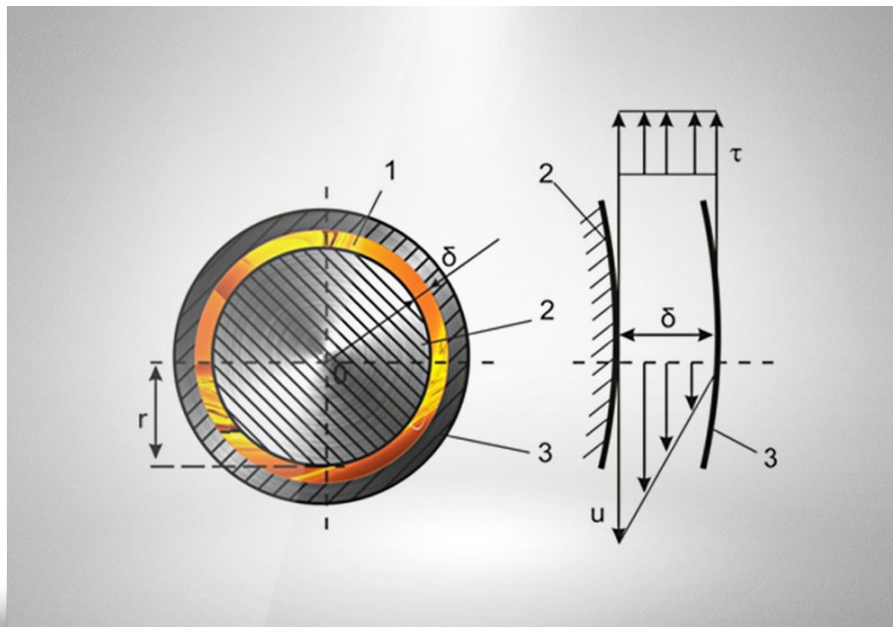
- конструкции узла трения;
- скорости взаимного перемещения трущихся поверхностей;
- величины и равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности;
- равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности; вязкости смазочного материала;
- площади трущихся поверхностей;
- величины зазора между трущимися поверхностями;
- температурного состояния узла трения и др.



Сила трения при жидкостном трении зависит только от трения внутренних слоев в смазочном материале, а коэффициент трения в 50-100 раз меньше, чем при трении без смазки.

# Основы гидродинамической теории смазки

Гидродинамическая теория смазки занимается изучением гидравлических явлений, возникающих в смазочном слое при относительном движении двух твердых тел, разделенных этим слоем.



1 – слой смазочного материала,  
 2 – цапфа,  
 3 – подшипник,  
 $r$  – радиус цапфы,  
 $\omega$  – окружная скорость цапфы,  
 $\delta$  – толщина зазора,  
 $\tau$  – напряжение сдвига от  
 внутреннего трения при сдвиге  
 слоев жидкости

**Схема вращения цапфы в подшипнике  
при соосном расположении.**

# ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СМАЗКИ (продолжение)

Сила трения между цапфой и смазочным материалом

$$F = \tau S = \mu S \cdot du/dr = 2\pi r l \mu \cdot du/dr, \quad (6)$$

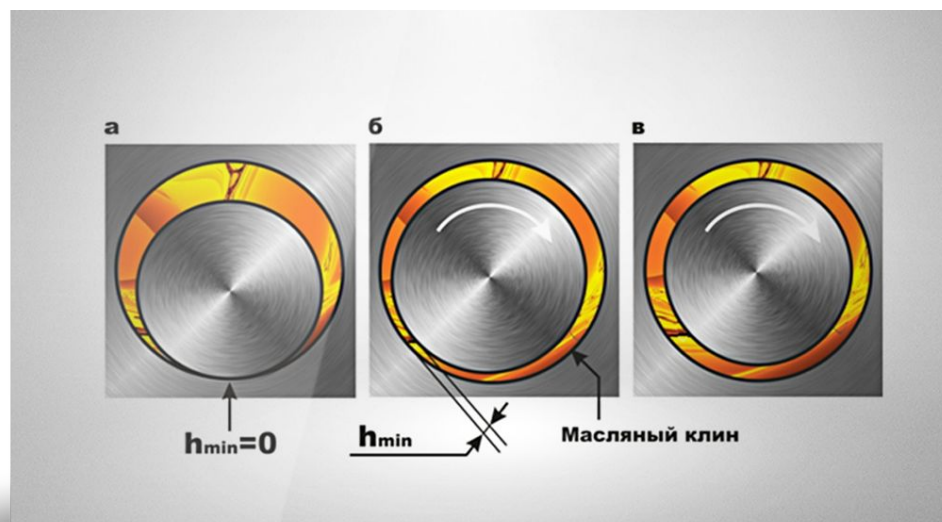
где  $S = 2\pi r l$  - площадь поверхности цапфы.

Приняв, что скорость вращения частиц смазочного материала на толщине слоя  $\delta$  линейно изменяется от  $u$  до нуля, можно определить градиент скорости как  $du/dr = u/\delta$ . Тогда

$$F = 2\pi r l \mu \cdot u/\delta. \quad (7)$$



# Механизм образования масляного клина в подшипнике скольжения



а - двигатель не работает; б - момент пуска двигателя; в - работа двигателя (постоянное вращение коленчатого вала)

## Минимальная толщина масляного слоя $h_{\min}$ зависит от:

- конструкции подшипника скольжения (наличия упорных буртиков, сальниковых уплотнений и других элементов),
- абсолютной вязкости масла,
- скорости перемещения трущихся поверхностей,
- величины давления на трущиеся поверхности.





## ООО «Балтех»

Россия, г. Санкт-Петербург, 194044, ул. Чугунная, 40

Тел./факс: +7 (812) 335-00-85

e-mail: [info@baltech.ru](mailto:info@baltech.ru) [info@baltech.ru](mailto:info@baltech.ru) [www.baltech.ru](http://www.baltech.ru)