

Электрические контакты
Понятие об электрической эрозии.
Дребезг контактов и способы
борьбы с ним.

Электрический контакт

Электрический контакт - место прохождения тока из одной токоведущей части в другую.

Контакт (в ЭА) - токоведущие детали, при соприкосновении которых замыкается электрическая цепь.

Электрическое контактное соединение - функциональный узел, с помощью которого соединяются две и более токоведущих детали для перехода тока из одной детали в другую.

Контакты аппаратов:

- ✓ коммутирующие,
- ✓ замыкающие,
- ✓ размыкающие,
- ✓ неразмыкаемые (болтовые и винтовые соединения, пайка, соединение клеммами и др.).

Контактное нажатие - усилие, создаваемое контактными пружинами.

Контактные поверхности - поверхности, на которых осуществляется электрический контакт

Контакты от вида контактирующих поверхностей

- ✓ **точечные** – соприкосновение в точке (сфера - сфера, сфера - плоскость, вершина конуса - плоскость и т. п.)
- ✓ **линейные** – соприкосновение по линии (цилиндр - цилиндр (по образующей), цилиндр - плоскость, тор - плоскость и т. п.) ряд точек-площадок (минимум две), расположенных на одной линии.
- ✓ **плоскостные** - соприкосновение по поверхности (ряд точек-площадок (минимум три), расположенных на этой поверхности).

Площадь соприкосновения контактов: $S_{\text{пр}} = P / \sigma$

P – сила, сжимающая контакты;

σ – временное сопротивление материала смятию

Контактное нажатие – усилие воздействия одной контактной поверхности на другую.

Начальное контактное нажатие - усилие воздействия одной контактной поверхности на другую при первом соприкосновении контактов.

Конечное контактное нажатие - усилие воздействия одной контактной поверхности на другую при полностью включенных контактах.

Токоведущие и контактные детали ЭА

Разборный контакт (контактное соединение) - это конструктивный узел, предназначенный только для проведения электрического тока, но не предназначенный для коммутации (болтовое соединение “шин”, присоединение проводника к зажиму).

Коммутирующие контакты - это конструктивный узел, предназначенный для коммутации электрической сети (выключатель, контактор, рубильник).

Скользящие контакты – коммутирующий контакт, у которого одна деталь скользит относительно другой, но электрический контакт при этом не нарушается (контакты реостата, щеточный контакт, шарнирный контакт, проскальзывающий контакт).

Коммутирующие разрывные контакты :

- на малые токи - *одноточечное контактирование*, т.к. при малых нажатиях высокое удельное давление контактов.
- на большие токи – *многоточечные*: Рычажные (проскальзывающие, перекатывающиеся); Мостиковые; Врубные; Торцевые; Розеточные. Эти контакты бывают *одноступенчатыми* и *многоступенчатыми*. В многоступенчатых контактах - минимум две пары параллельных контактов:
- Основные или рабочие - для проведения тока в рабочих режимах.
- Дугогасительные - основная роль при включении, отключении.

Раствор контактов — наименьшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении.

Контактное нажатие - сила, с которой подвижной контакт должен давить на неподвижный, чтобы обеспечить нормальную работу аппарата.

Провал контактов - расстояние, на которое смещается подвижный контакт после полного замыкания контактов (если неподвижный контакт мысленно убрать) (паспортная техническая величина, обеспечивающая усилие нажатия).

Провал контактов в процессе эксплуатации контролируется. Допустимо уменьшение провала контактов на 50% от начального значения приведенного в документации завода -изготовителя.

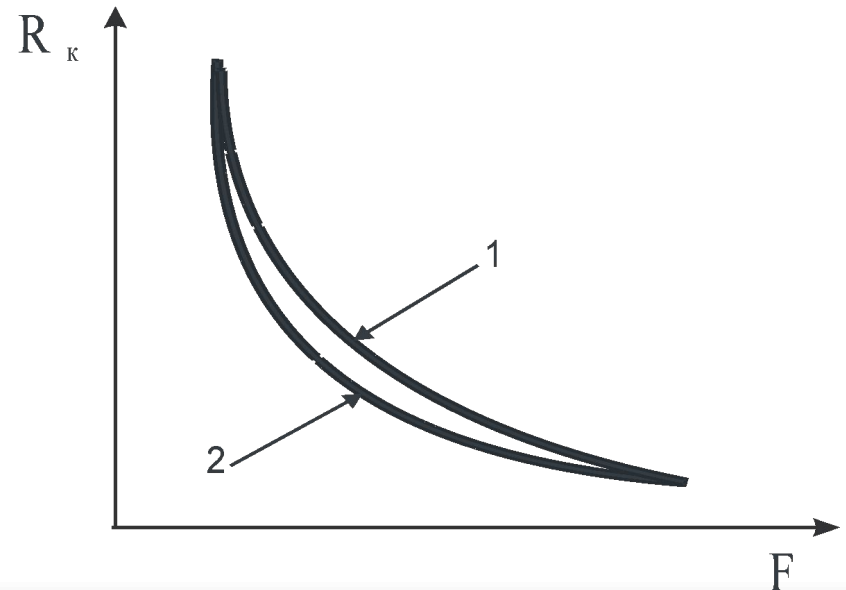
Притирание — перемещение линии касания подвижного контакта по поверхности неподвижного контакта.

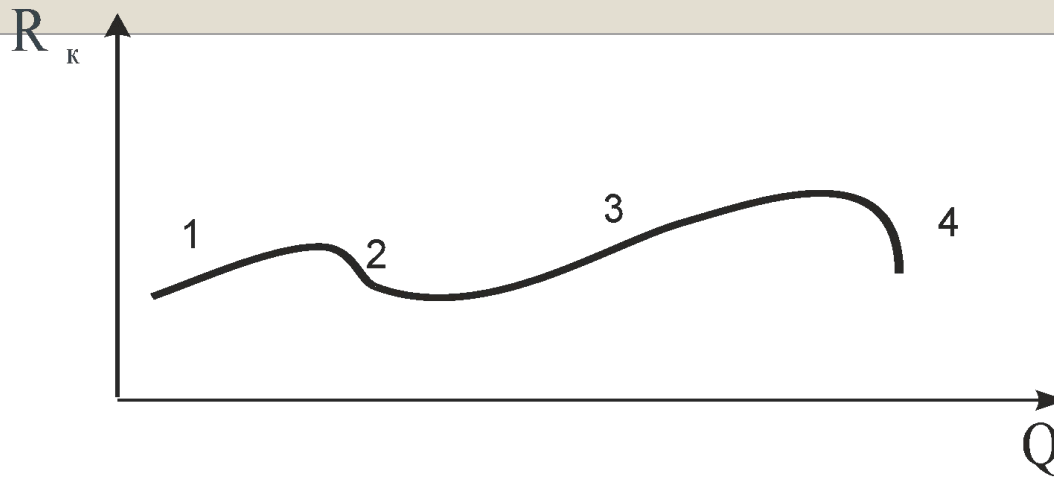
Износ - разрушение рабочей поверхности коммутирующего контакта в процессе работы (изменение формы, размера, массы и уменьшение провала контактов).

Переходное сопротивление – резкое увеличение активного сопротивления контакта в месте перехода тока из одной детали в другую (R_k).

Для контактов всех видов :
$$R_k = \frac{k}{(0,102 \cdot F)^m}$$

k - коэффициент переходного сопротивления, зависящий от материала контактов, Ом Н; F – сила, сжимающая контакты; m - показатель, определяющий степень зависимости переходного сопротивления от контактного нажатия F , Н.





1 - переходное сопротивление возрастает вследствие повышения удельного электрического сопротивления контактного материала;

2 - увеличивается суммарная поверхность соприкосновения, так как облегчается деформация микронеровностей вследствие снижения механической прочности контактного материала, и переходное сопротивление уменьшается скачкообразно;

3 - переходное сопротивление снова возрастает;

4 - резко падает при температуре плавления материалов контактов, когда происходит сваривание контактов.

Зависимость R_k от состояния контактной поверхности , материала контактов

- **Шлифовка поверхности** - увеличивает R_k , по сравнению с обработкой напильником.
- **Оксиды** многих металлов - плохие проводники.
- **Материалы с большей механической прочностью** имеют большие R_k и требуют большего контактного нажатия.
- **Чем выше электропроводность и теплопроводность** материала, тем ниже R_k .

Материал контактов	Медь - медь	Алюминий - алюминий	Сталь – сталь
Время окисления при 70° С, дни	36	54	57,5
Степень увеличения сопротивления	15 000	70	900

Режимы работы контактов

- ✓ Работа контактов при включении цепи
- ✓ Работа контактов во включенном состоянии
- ✓ Работа контактов при отключении цепи

Включение цепи:

- Вибрация контактов
- Эрозия (физический износ)

Включенное состояние:

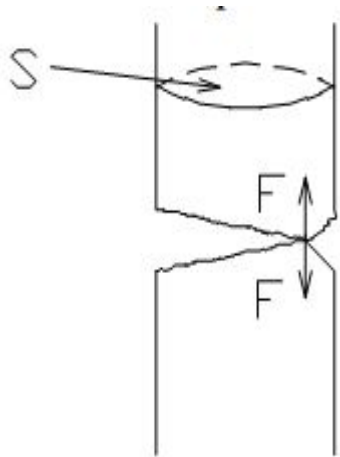
- Номинальный ток
- Ток короткого замыкания

Отключение цепи:

- Коррозия (химический износ)
- Электрические разряды

Включение цепи

Вибрация контактов (дребезг) – периодическое отбрасывание и последующее замыкание подвижной контактной системы за счет упругой деформации неподвижной контактной системы (0.01- 0.1 мм). Процесс идет с затухающей амплитудой.



Электродинамические силы отброса возникают вследствие сужения линий тока, при этом возникает продольная сила, направленная внутрь проводника.

$$F = 10^{-7} \times i^2 \times \ln\left(\frac{S}{f_0}\right)$$

Эрозия (физический износ) – износ контактов в результате переноса материала с одного контакта на другой или испарение материала в окружающее пространство без изменения состава материала.

Включенное состояние

Номинальный режим - $T_{\text{доп}}$ контактов, при длительном прохождении $I_{\text{ном}}$, определяется температурой, исключающей их интенсивное окисление. Например, $T_{\text{доп}}$ в пределах 75 °С (медные контакты), 120 °С (серебряные контакты).

Термическая стойкость контактов - способность выдерживать в течение определенного времени большие токи не оплавляясь и не свариваясь.

Электродинамическая стойкость контактов — способность пропускать большие токи и не размыкаться под действием электродинамических усилий, значительно не снижая контактного нажатия.

Отключение цепи

- ❖ **Коррозия (химический износ)** – износ, связанный с окислением и образованием на контактах пленок химических соединений материала контакта со средой
 - ❖ **Износ при размыкании** – $F \rightarrow 0, R_k, j \nearrow$
Образование между расходящимися контактами мостика жидкого металла (контактный перешеек). Мостик рвется, между контактами возникает **электрический разряд**.
- Два вида разряда:**
- 1) **Дуговой разряд** (например, для Cu при $I = 0,5 \text{ A}$ и $U > 15 \text{ B}$)
 - 2) **Искровой разряд** - при $I < 0,5 \text{ A}$.
- ❖ **Эрозия (физический износ)** - при искровом разряде на поверхности контакта образуются лунки и наплывы.

Материалы для контактных соединений

Требования к материалам:

- 1. Высокая электропроводность и теплопроводность.**
- 2. Стойкость против коррозии.**
- 3. Стойкость против образования пленок с высоким ρ .**
- 4. Малая твердость материала для уменьшения силы нажатия.**
- 5. Высокая твердость для уменьшения механического износа при частых включениях и отключениях.**
- 6. Малая эрозия.**
- 7. Высокая дугостойкость (температура плавления).**
- 8. Высокие значения тока и напряжения, необходимые для дугообразования.**
- 9. Простота обработки и низкая стоимость.**

Нет в природе таких материалов.

Материалы для контактных соединений

- ❑ **Медь (Cu)** удовлетворяет всем пунктам, кроме 2 и 5 .
- ❑ **Серебро (Ag)** удовлетворяет всем пунктам, кроме 7. Используют в качестве накладок на рабочие поверхности из меди.
- ❑ **Алюминий (Al)** применяется только в разборных соединениях, при армировании его Cu или Ag. Применяются его сплавы, для коммутирующих контактов не используется.
- ❑ **Пластина, золото, молибден.** Используются на малые токи при малых напряжениях, т.к. не образуют окисных пленок.
- ❑ **Вольфрам и его сплавы** (с молибденом и платиной) используются на малые и большие токи для дугостойкости контактов.
- ❑ **Металлокерамика** - механическая смесь двух практически не сплавляющихся металлов. Получают методом спекания их порошков или пропиткой одного расплавом другого. Один из материалов имеет большую проводимость, другой обладает механической прочностью, дугостойкостью, тугоплавкостью (серебро, вольфрам, Ag - Ni, Ag - Графит, Ag - окись кадмия, Ag - молибден). Металлокерамика применяется в качестве дугогасительных контактов, в качестве основных основных контактов на токи до 600 А.

Источники потерь электроэнергии (источники теплоты) в ЭА

- 1 Токоведущая часть.**
- 2 Нетоковедущие ферромагнитные части.**
- 3 Изоляция аппаратов.**
- 4 Электрическая дуга.**

Токоведущая часть

$$W = \int_0^t i^2 R dt \quad R_- = \rho l / S$$

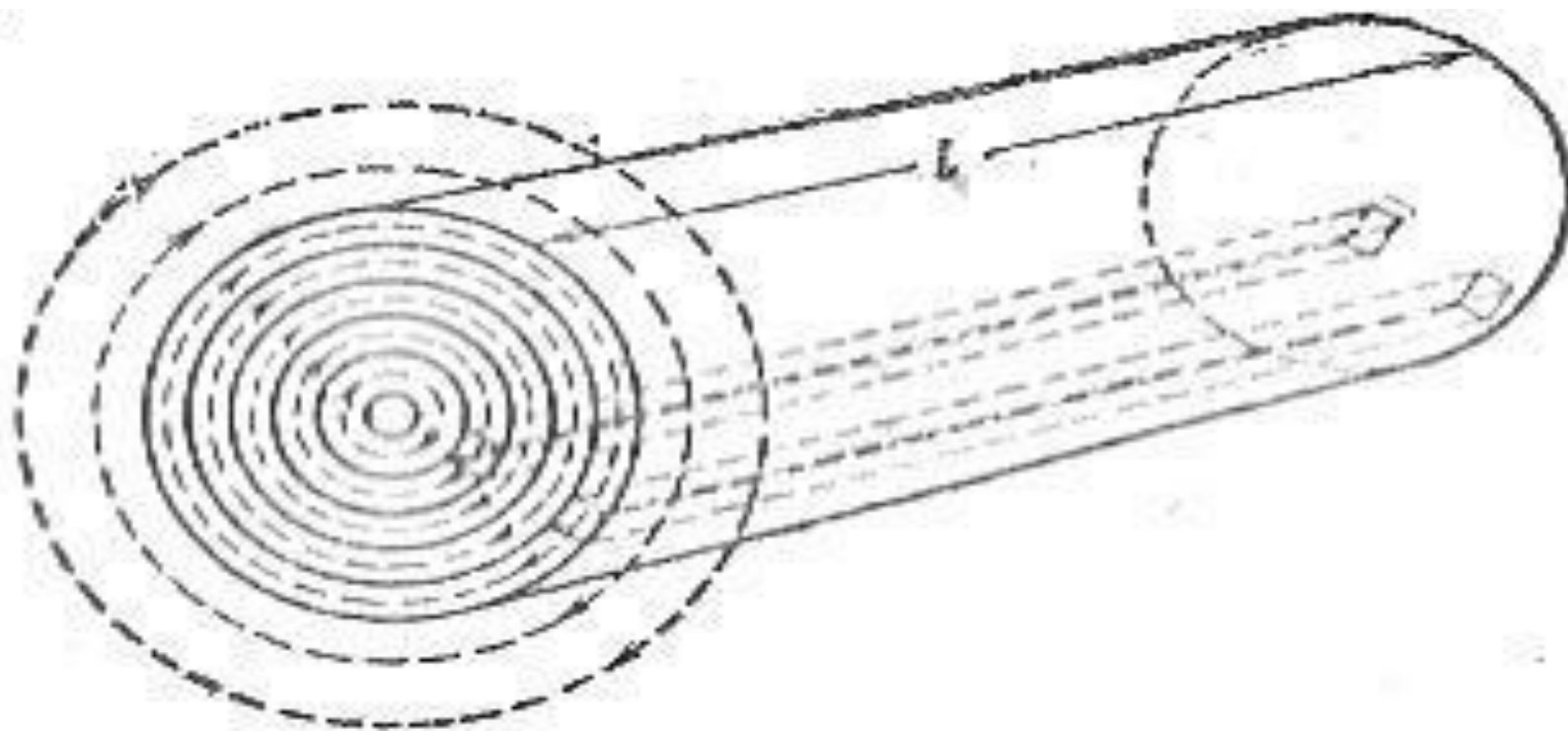
$$R_{\sim} > R_- \quad R_{\sim} = R_- k_{\delta}$$

k_{δ} — коэффициент добавочных потерь, вызванных поверхностным эффектом и эффектом близости

$$k_n = \frac{R_{\sim yed}}{R_-} = \frac{R_{\sim}}{R_-}$$

k_n - коэффициент поверхностного эффекта

Поверхностный эффект



Поверхностный эффект зависит от частоты тока, магнитной проницаемости и проводимости материала проводника. Чем они больше тем больше поверхностный эффект.

□ При больших токах нецелесообразно применение токоведущих частей и профилей при $k_n > 1,1-1,2$

□ Ферромагнитные материалы (например, сталь) не применяются для изготовления токоведущих элементов рассчитанных на большие токи, т.к. поверхностный эффект резко увеличивается вследствие того, что магнитная проницаемость стали на много порядков выше, чем у меди или алюминия.

Эффект близости

Эффект близости - явление неравномерного распределения переменного тока по поперечному сечению проводника, обусловленное влиянием магнитного поля тока, проходящего по рядом расположенному другому проводнику. Отношение активного сопротивления проводника, находящегося в магнитном поле других проводников, к сопротивлению уединенного проводника называется *коэффициентом эффекта близости*

$$k_{\text{б}} = \frac{R_{\sim}}{R_{\sim \text{уед}}}$$

Эффект близости зависит от: частоты тока, проводимости и магнитной проницаемости материала. Эффект близости проявляется тем сильнее, чем ближе друг к другу расположены проводники с током.

Элементарные проводники, принадлежащие разным параллельно расположенным проводам с токами одного направления, которые наиболее удалены друг от друга, сцеплены с наименьшим магнитным потоком, следовательно, плотность тока в них наибольшая.

Если токи в параллельных проводах имеют разные направления, то большая плотность тока наблюдается в тех элементарных проводниках, принадлежащих разным проводам, которые наиболее сближены друг с другом.

Коэффициент добавочных потерь

$$k_{\delta} = \frac{R_{\sim}}{R_{-}} = \frac{k_{\delta} R_{\sim yed} k_n}{R_{\sim yed}} = k_{\delta} k_n$$

Потери в нетоковедущих ферромагнитных частях аппарата

✓ Под действием переменного магнитного потока в ферромагнитных деталях появляются вихревые токи, которые создают потоки противодействующие изменению основного потока (правило Ленца). При протекании вихревых токов по магнитопроводу происходит преобразование электрической энергии в тепловую.

✓ Возникают дополнительные потери на перемагничивание за счет гистерезиса.

Для уменьшения нагрева нетоковедущих частей аппаратов:

✓ При номинальных токах выше 1000А используются немагнитные материалы (немагнитная сталь, латунь, бронза, немагнитный чугун, алюминиевые сплавы).

✓ Устройство прорезей, т. е. включение воздушных (или немагнитных) промежутков на пути магнитного потока (поток уменьшается за счет роста магнитного сопротивления цепи).

✓ Применение короткозамкнутых витков из проводниковых материалов, охватывающих сечение ферромагнитной детали (ток, возникающий в короткозамкнутом витке, уменьшает поток).

Потери в изоляции аппаратов из-за емкостных токов (в аппаратах высокого напряжения)

Мощность, выделяемая в изоляции в переменном электрическом поле:

$$P = 2\pi fCU^2 \operatorname{tg} \delta$$

Потери в изоляции аппаратов из-за токов проводимости

При эксплуатации аппаратов на открытом воздухе в условиях загрязнения и увлажнения по поверхности изоляции протекают токи проводимости i (токи утечки).

Мощность потерь из-за тока утечки:
$$P = \int_0^t i \cdot U^2 dt$$

Нагрев аппаратов электрической дугой

Вследствие высокой температуры дуги (3000-20000°C) происходит повышение температуры проводников, между которыми горит дуга; температуры дугогасящих камер; близлежащих элементов аппаратов.

Нагрев при трении между собой отдельных элементов аппаратов

Способы передачи тепла

1 Теплопроводность

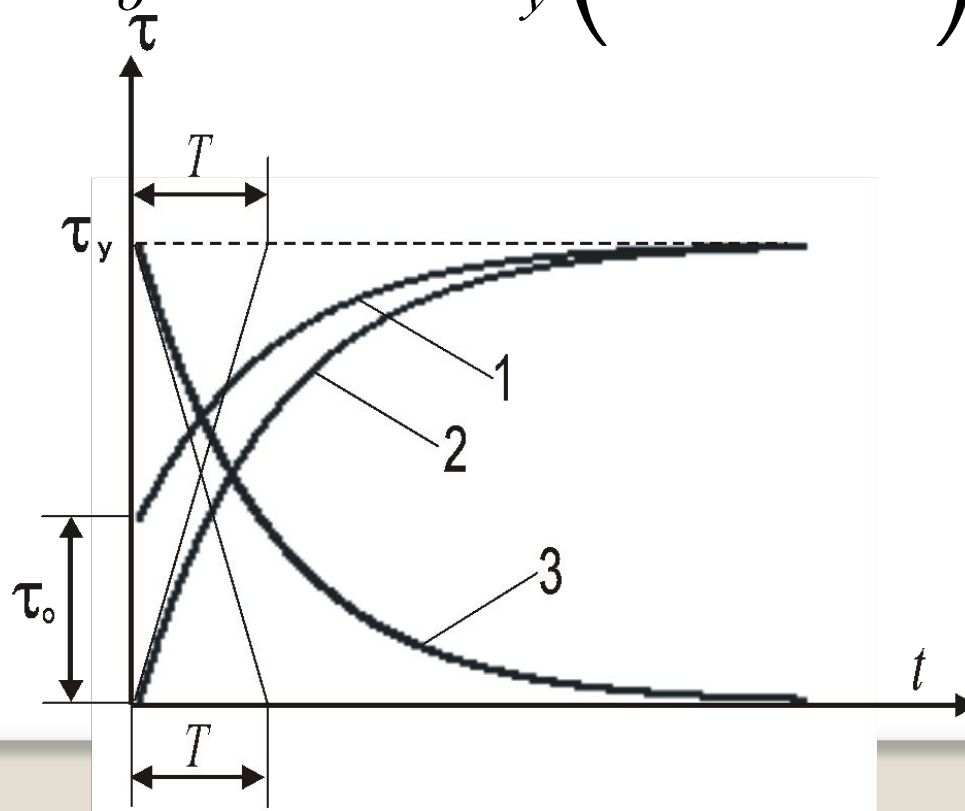
2 Конвекция (естественная, искусственная)

3 Лучеиспускание

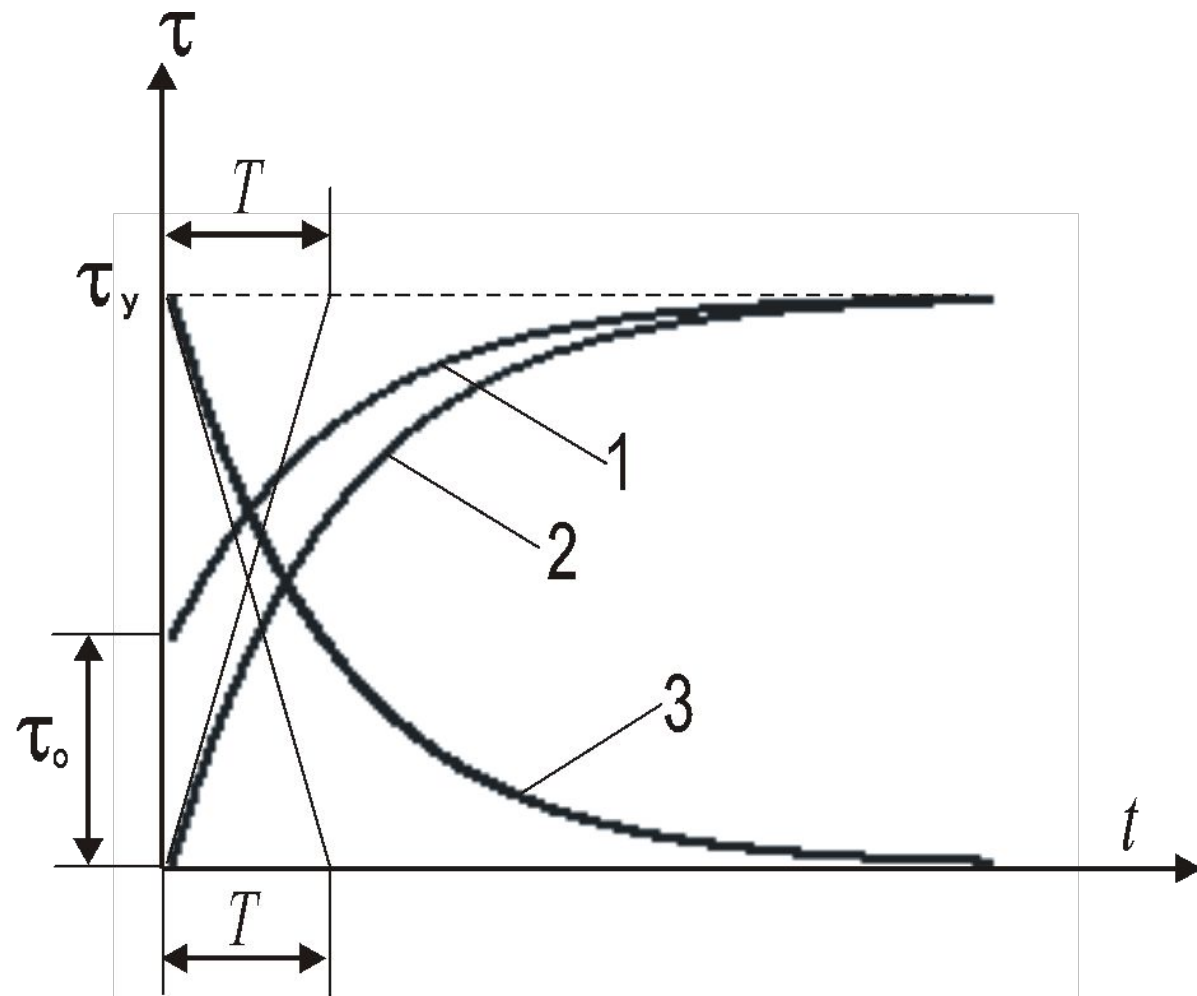
Тепловые режимы аппаратов

Установившийся процесс нагрева - если с течением времени температура аппарата и его частей не изменится. Все выделяющееся тепло отдается в окружающее пространство.

$$Pdt = k_T S \tau dt + C d\tau$$
$$\tau = \tau_o e^{-t/T} + \tau_y \left(1 - e^{-t/T}\right)$$



Переходные процессы при нагреве и охлаждении



$$Pdt = k_T S \tau dt + Cd\theta$$

При $\theta_{o.c} = \text{const}$

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_y (1 - e^{-t/T})$$

$$\tau_y = P / k_T S \quad T = cM / k_T S$$

Если процесс нагрева проходит без отдачи тепла в окружающую среду, т.е. $\tau_0 = 0$, то τ_y – превышение температуры в начале процесса (при $t = 0$)

$$Pdt = Cd\tau, \text{ и } \tau = Pt/C \text{ или } \tau = \tau_y t/T,$$

т.е. подъем температуры происходит по касательной к кривой $\tau(t)$ в начале координат. При $t = T$ $\tau = \tau_y$.

T – постоянная времени, т.е. время, в течение которого тело нагрелось бы до установившейся температуры при отсутствии отдачи тепла в окружающее пространство. Чем больше T , тем медленнее нагревается проводник.

Энергетический баланс при охлаждении тела

$$Cd\tau = k_T S \tau dt$$

$$\tau = \tau_y e^{-t/T}$$