

# **Электротехнологии**

## **часть 1**

сост. Пустовой С.А.

2015

# ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

- Под **электротехнологией** понимают область науки и техники, охватывающую изучение и использование технологических процессов, в которых электрическая энергия участвует непосредственно в технологическом процессе, преобразуясь в рабочей зоне и в объекте обработки в тепловую, электромагнитную, химическую, механическую и (или) другие виды энергии.
- В зависимости от вида преобразованной энергии различают процессы электротермии, электрохимии, электрофизики, электробиологии и процессы электронно–ионной технологии, протекающие в различных средах и специфически воздействующие на продукт обработки.

# Электрический нагрев

- Высокие санитарно-гигиенические условия
- Высокий уровень автоматизации и точности поддерживаемых параметров
- Возможность как равномерного, так и избирательного нагрева
- Меньшая потребность в производственных площадях
- Постоянная готовность к действию
- Меньшая пожароопасность

# Объекты электрического нагрева

- **Биологические объекты**
  - Растения
  - Животные
  - Биологически активные вещества (жидкости, биомасса и пр.)
- **Небиологические объекты**
  - Диэлектрики (древесина, пластмасса, масла и пр.)
  - Проводники
    - Первого рода
    - Второго рода

# ПРОВОДНИКИ

- **Проводник** — вещество, среда, материал, хорошо проводящие **электрический ток**.

В проводнике имеется большое число свободных носителей заряда, то есть заряженных частиц, которые могут свободно перемещаться внутри объёма проводника и под действием приложенного к проводнику электрического напряжения создают ток проводимости.

# ПРОВОДНИКИ ПЕРВОГО РОДА

- Твердые и жидкие проводники, прохождение через которые электрического тока не вызывает переноса вещества в виде ионов, называются *проводниками первого рода*.  
Электрический ток в проводниках первого рода осуществляется потоком электронов (*электронная проводимость*).

К таким проводникам относятся **твёрдые и жидкие металлы и некоторые неметаллы (графит, сульфиды цинка и свинца)**.

Их удельное сопротивление  $\rho$  лежит в пределах  $10^{-8} - 10^{-5}$  Ом · м.

**Температурный коэффициент проводимости отрицателен**, то есть с ростом температуры электропроводность уменьшается.

# ПРОВОДНИКИ ВТОРОГО РОДА

- Вещества, прохождение через которые электрического тока вызывает передвижение вещества в виде ионов (*ионная проводимость*), называются *проводниками второго рода*.

Типичными проводниками второго рода являются

- растворы солей, кислот и оснований в воде и некоторых других растворителях ( $10^{-2} \leq \rho \leq 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ),
- расплавленные соли ( $10^{-3} < \rho < 10^{-1} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ )
- некоторые твёрдые соли ( $10^1 \leq \rho \leq 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ).

Температурный коэффициент электропроводности **положителен**.

Как правило, в проводниках второго рода **электричество переносится положительными (катионы) и отрицательными (анионы) ионами**.

# ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В ПРОВОДНИКЕ

- Закон Джоуля-Ленца

физический закон, дающий количественную оценку теплового действия электрического тока.

$$Q = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} = IUt$$



# ПОВЕРХНОСТНЫЙ ЭФФЕКТ

- **Поверхностный эффект, скин-эффект** —

эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды.

В результате этого эффекта, например, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое.

- **Толщина скин-слоя**

Объёмная плотность тока

максимальна у поверхности проводника.

При удалении от поверхности она убывает и на глубине становится меньше в **e** раз.

$$\Delta = 10^3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \mu_0 \pi f}}$$

Частота	Толщина скин-слоя
50 Гц	9,34 мм
60 Гц	8,53 мм
10 кГц	0,66 мм
100 кГц	0,21 мм
1 МГц	66 мкм
10 МГц	21 мкм

# Способы электрического нагрева и классификация электронагревательных установок (ЭНУ)

- Способы электрического нагрева различают по следующим основным признакам:
  - **Виду** электрического тока или электромагнитной волны
  - **Способу создания** электрического тока или электромагнитной волны
  - **Частоте** тока или поля

# СПОСОБЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА

- Электрический нагрев сопротивлением
- Дуговой электронагрев
- Индукционный электронагрев
- Диэлектрический электронагрев
- Электронный электронагрев
- Лазерный электронагрев

# ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- **Электрический нагреватель** – тепловыделяющий источник, преобразующий электрическую энергию в тепловую.
- **Электронагревательная установка (ЭНУ)** – агрегат или оборудование включающее, электрические нагреватели, рабочую камеру и другие элементы, связанную в единый конструктивный комплекс и предназначенные для совершения определенного технологического процесса.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНУ

- По способу электрического нагрева:
  - Сопротивления
  - Электродугового нагрева
  - Индукционного нагрева
  - Диэлектрического нагрева
  - Электронного нагрева
  - Лазерного нагрева
  - Смешанного нагрева

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНУ

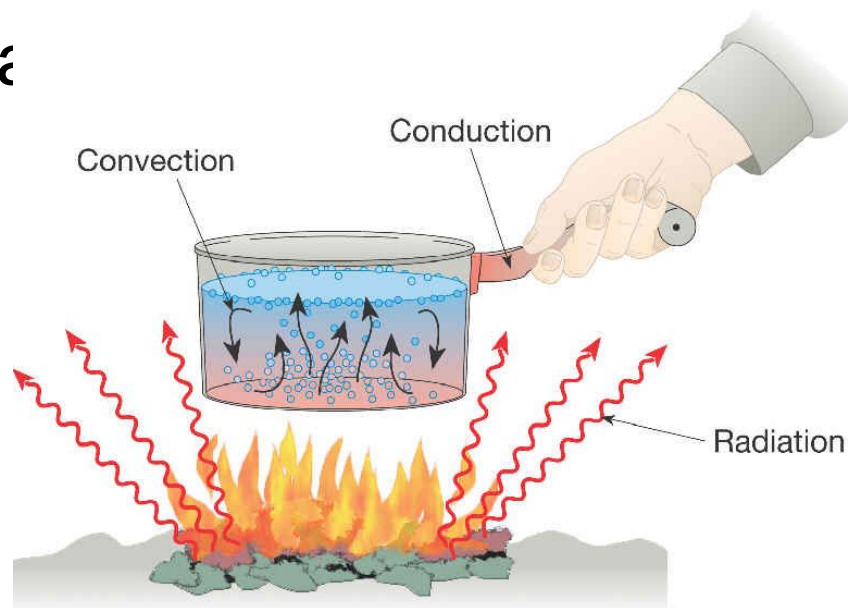
- По принципу нагрева
  - Прямого нагрева
  - Косвенного нагрева
- По алгоритму работы
  - Периодического действия
  - Непрерывного действия

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНУ

- По роду тока и частоте
  - Постоянного тока
  - Низкой (промышленной) частоты (50 Гц)
  - Средней (повышенной) частоты (до 10 кГц)
  - Высокой частоты (до 100 МГц)
  - Сверхвысокой частоты (свыше 100 МГц)

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНУ

- По способу теплопередачи
  - Контактного нагрева (теплопроводностью)
  - Конвективного нагрева
  - Лучистого (инфракрасного) нагрева
  - Смешанного нагрева



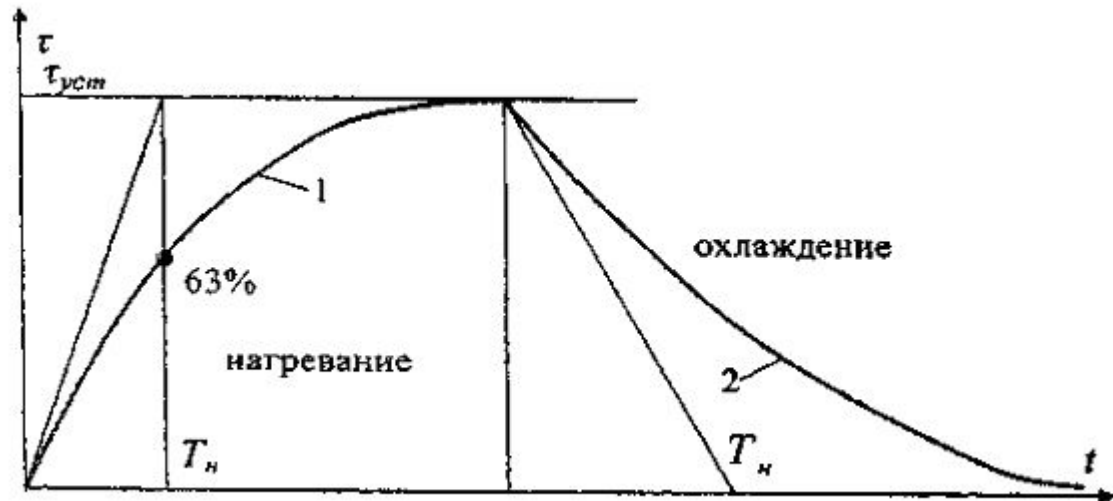


# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭНУ

- тепловой расчет нагревательных устройств основывается на совместном решении уравнений теплового баланса и теплопередачи с учетом динамики нагрева.

# ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭНУ

- Физически величину  $T_n$  можно рассматривать как время, в течение которого превышение температуры достигло бы установившегося значения  $\tau_{уст}$ , если бы скорость возрастания температуры оставалась все время неизменной.
- Такие условия имели бы место, если бы в процессе нагревания и охлаждения не происходило отдачи теплоты окружающей среде.
- Но так как в действительности часть тепловой энергии рассеивается



T

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭТУ

Расчетная мощность ЭТУ  $P_{расч}$ , кВт определяется из уравнения теплового баланса процесса нагрева для установившегося режима

$$P_{расч} = P_{пол} + \sum P_{пот},$$

где  $P_{пол}$  - полезная мощность, кВт;

$\sum P_{пот}$  - мощность тепловых потерь в окружающую среду (теплопроводностью, конвекцией и излучением), кВт.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭТУ

Исходя из полученной теплопроизводительности или потребного количества теплоты, определяется расчетная мощность установки

$P_{расч}$ , кВт

- для установок периодического действия

$$P_{расч} = \frac{Q_{пол}}{3600 \cdot \tau \cdot \eta_T} \cdot K_3, \quad (1.1)$$

где  $\tau$  – время нагрева одной порции воды, ч; определяется технологическим процессом с учетом периодичности проведения мероприятий;

$\eta_T$  – термический КПД ЭТУ;

$K_3$  – коэффициент запаса; для электродных ЭТУ  $K_3 = 1,1 \dots 1,5$ .

- для установок непрерывного действия

$$P_{расч} = \frac{Q_{пол}}{3600 \cdot \eta_T} \cdot K_3. \quad (1.2)$$

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭТУ

Основным параметром ЭТУ является мощность, которая определяется на основе уравнения теплового баланса. Для установок периодического действия определяется количество теплоты  $Q$ , кДж, требуемое для нагрева одной порции материала

$$Q_{пол} = m \cdot c \cdot (t_{кон} - t_{нач}), \quad (1.3)$$

где  $m$  – масса воды, нагреваемая за один цикл нагрева, кг; определяется в зависимости от требуемых норм на одну голову животного за сутки с учетом числа циклов;

$c$  – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

$t_{кон}$  и  $t_{нач}$  – конечная и начальная температуры нагрева воды, °С.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭТУ

Все тепловые процессы связаны либо с нагревом твёрдых, жидких или газообразных тел, либо с изменением их агрегатного состояния. Поэтому полезная мощность определяется полезным количеством теплоты, расходуемым на изменение теплосодержания материала и на фазовые превращения (плавление, парообразование).

$$Q_{\text{пол}} = m \cdot c_1 \cdot (t_{\text{пл}} - t_1) + m \cdot a_{\text{пл}} + m \cdot c_2 \cdot (t_n - t_{\text{пл}}) + m \cdot a_n + m \cdot c_3 \cdot (t_2 - t_n), \quad (1.5)$$

где  $m$  – масса нагреваемого материала, кг;

$c_1, c_2, c_3$  – удельные массовые теплоемкости соответственно льда, воды и пара, кДж/(кг·°С);

$a_{\text{пл}}, a_n$  – удельная теплота плавления и парообразования соответственно, кДж/кг.

$t_{\text{пл}}, t_n$  – температура плавления и парообразования материала соответственно, °С.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЭТУ

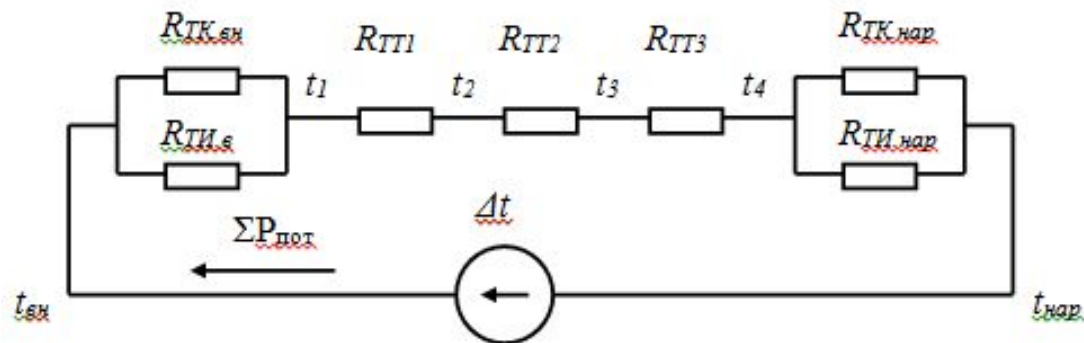
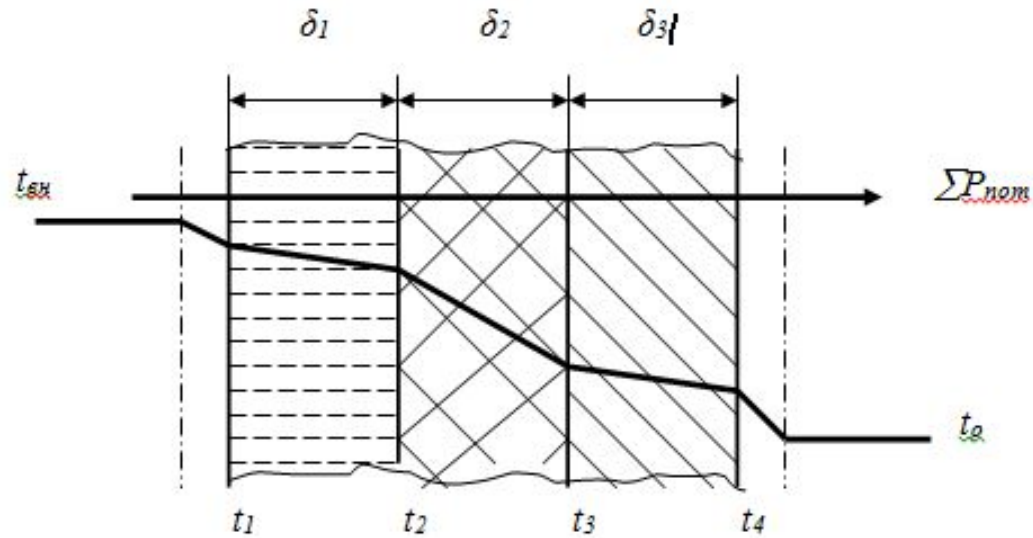
Одним из способов определения тепловых потерь ЭТУ является метод электрических схем-аналогов, заключающийся в проведении аналогии между электрическими и тепловыми величинами

Аналогия между электрическими и тепловыми величинами

Величины	
в электрической цепи	в термической цепи
Электрический ток $I$ , А	Тепловой поток $\Sigma P_{ном}$
Электрический потенциал $\varphi$ , В	Температура $t$ , °С
Напряжение $U$ , В	Разность температур $\Delta t$ , °С
Электрическое сопротивление $R$ , Ом	Термическое сопротивление $R_T$ , °С/Вт

$$\Sigma P_{ном} = \frac{\Delta t}{\Sigma R_T}$$

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЭТУ





# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЭТУ

Термическое сопротивление конвективной теплопередачи  $R_{TK}$ ,  $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

$$R_{TK} = \frac{1}{\alpha \cdot F}, \quad (1.9)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплопередачи конвекцией,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$F$  – площадь конвективной поверхности,  $\text{м}^2$ .

Термическое сопротивление теплопроводностью  $R_{TT}$ ,  $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

$$R_{TT} = \frac{\delta}{\lambda \cdot F}, \quad (1.10)$$

где  $F$  – площадь изотермической поверхности теплопроводящего слоя,  $\text{м}^2$ ;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности слоя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Коэффициент теплопроводности материала увеличивается с повышением температуры, при которой происходит передача теплоты. Усиление теплопроводных свойств объясняется возрастанием кинетической энергии молекул скелета вещества. Увеличивается также и теплопроводность воздуха в порах материала, и интенсивность передачи в них теплоты излучением. В строительной практике зависимость теплопроводности от температуры большого значения не имеет. Расчет коэффициента теплопроводности материала при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\lambda_0$ , Вт/(м·°C), на основании величины, полученной при температуре до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выполняется по эмпирической формуле О.Е. Власова [ 14]:

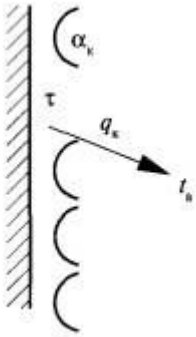
$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \beta_t t)$$

где  $\lambda_t$  - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C), при соответствующей температуре  $t$ , °C;

$\beta_t$  - температурный коэффициент для различных материалов, равный около  $0,0025\text{ }1/^{\circ}\text{C}$ .

Рекомендуемые в СП 23-101-2004 значения  $\lambda$  приняты при температуре  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для различных строительных материалов с указанием их плотности расчетные значения  $\lambda$ , соответствующие условиям эксплуатации

Конвекция - перенос теплоты движущимися частицами вещества. Конвекция наблюдается только в жидких и газообразных веществах, а также между жидкой или газообразной средой и поверхностью твердого тела (рис.). При этом осуществляется и теплопроводность. Совместное воздействие конвекции и теплопроводности в пограничной области у поверхности тела называют конвективным теплообменом.



В практических расчетах конвективного теплового потока  $q_k$ , Вт, передаваемого конвекцией от движущейся среды к поверхности или наоборот (рис.), применяют уравнение Ньютона

$$q_k = \alpha_k (t_a - \tau),$$

где  $\alpha_k$  - коэффициент конвективного теплообмена (теплоотдачи конвекцией) на поверхности стенки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t_a$  - температура воздуха, омывающего поверхность стенки, °С;

$\tau$  - температура поверхности стенки, °С.

# Коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждения при естественной конвекции

При температуре внутреннего воздуха  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_{\text{к}}$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), для вертикальных ограждений равен

$$\alpha_{\text{к}} = 1,163 \sqrt{\Delta t}$$

для горизонтальной нагретой поверхности, обращенной вверх, или охлажденной, обращенной вниз,

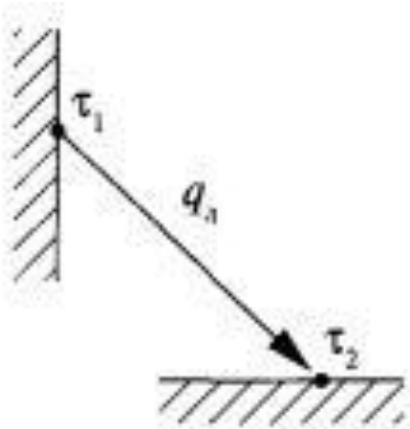
$$\alpha_{\text{к}} = 1,163 \sqrt{\Delta t}$$

для горизонтальной нагретой поверхности, обращенной вниз, или охлажденной, обращенной вверх,

$$\alpha_{\text{к}} = 1,163 \sqrt{\Delta t}$$

Следует отметить, что если температура воздуха отличается от  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при которой были получены коэффициенты в формулах (3.10)-(3.12), то эти коэффициенты будут уменьшаться на 1 % при увеличении температуры воздуха на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и, наоборот, возрастать при падении температуры воздуха на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Излучение, или лучистый теплообмен, - это перенос теплоты с поверхности на поверхность через лучепрозрачную среду электромагнитными волнами, трансформирующимися в теплоту (рис. 9).



Каждая поверхность тела в зависимости от своей температуры излучает энергию в виде волн различной длины. Видимые световые лучи имеют длину волны от 0,4 до 0,8 мк, а инфракрасные - тепловые - от 0,8 до 800 мк. Это излучение называется собственным. В соответствии с законом Планка при значениях температуры, имеющих место в помещениях, подавляющая часть энергии излучается в узком диапазоне длин волн, поэтому собственное излучение поверхностей в помещениях может считаться монохроматическим.

Если на поверхность падает лучистая энергия, то, как известно, часть ее поглощается телом, повышая его температуру, часть отражается, а если это лучепрозрачное тело, то часть падающей энергии пропускается сквозь него. Тело, которое поглощает всю падающую на него лучистую энергию, называется абсолютно черным; то, которое частично отражает лучистый поток, - серым; то, которое отражает всю падающую лучистую энергию, - абсолютно белым; тело, пропускающее всю энергию через себя, - абсолютно прозрачным.

Собственное излучение поверхности абсолютно черного тела  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, по закону Стефана-Больцмана пропорционально четвертой степени абсолютной температуры тела:



где  $C_0$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $C_0 = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $T$  - температура излучающей поверхности по шкале абсолютных температур, К.  
Это означает, что интенсивность излучения резко возрастает с повышением температуры поверхности тела.

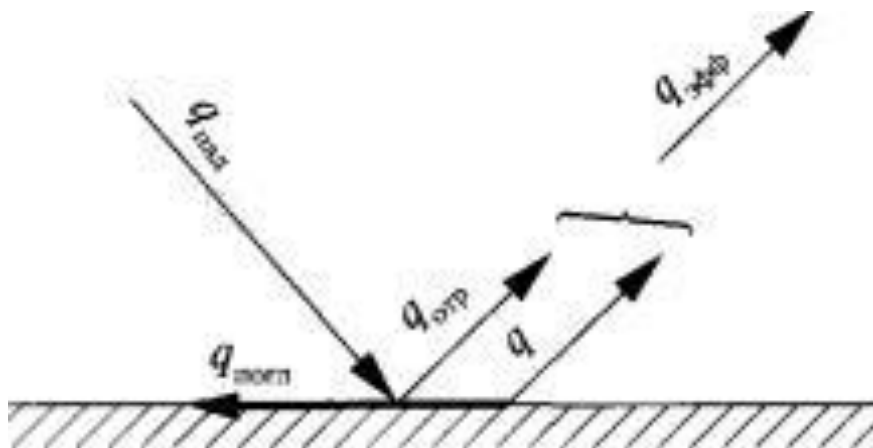
Серые тела излучают меньше энергии, чем абсолютно черные. Их коэффициент излучения  $C$ , Вт/( м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>), может быть представлен в виде

$$C = C_0 \epsilon ,$$

где  $\epsilon$  - степень черноты серого тела или относительный коэффициент излучения поверхности.

Для серой поверхности  $\epsilon < 1$ . Поверхности в помещении имеют высокие коэффициенты излучения - больше чем 0,8 (исключение составляют побеленные поверхности, у которых  $\epsilon = 0,62$ ).

По закону Кирхгофа у серых тел коэффициент излучения равен коэффициенту поглощения. Так как поверхности излучают собственную и отраженную теплоту, эту сумму называют эффективным излучением поверхности (рис.). Из-за того что коэффициенты поглощения в помещении близки к 1, отраженная от них часть лучистой энергии, упавшей от других поверхностей, близка к 0. Поэтому отраженной частью излучаемой энергии пренебрегают и эффективное излучение считают равным собственному.



# ЭЛЕКТРОНАГРЕВ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

- Прямой нагрев
- Косвенный нагрев

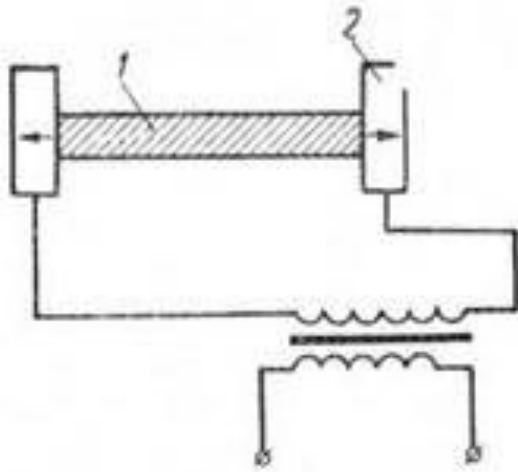


# ПРЯМОЙ НАГРЕВ

- Прямой нагрев металлических деталей
- Контактная сварка
- Наплавка при восстановлении деталей
- Нагрев трубопроводов (разморозка, предотвращение замерзания)

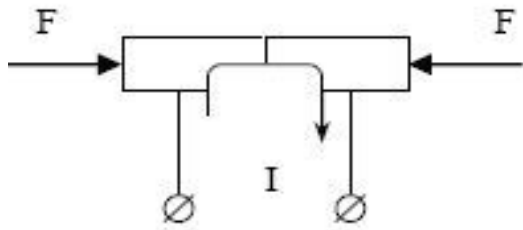
# ПРЯМОЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

- Сущность *электроконтактного* нагрева заключается в использовании тепла, выделяющегося при протекании электрического тока непосредственно по заготовке

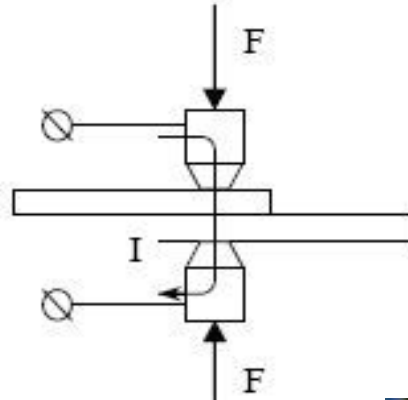


# ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ СВАРКА

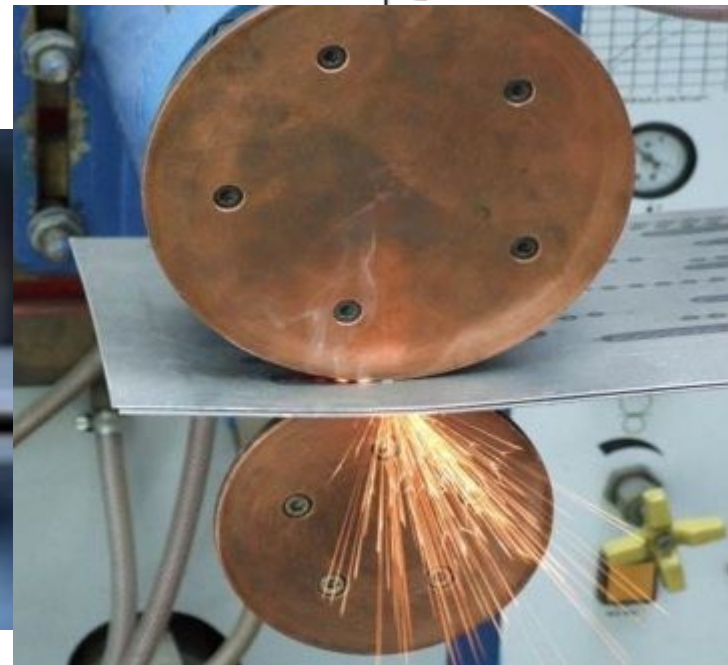
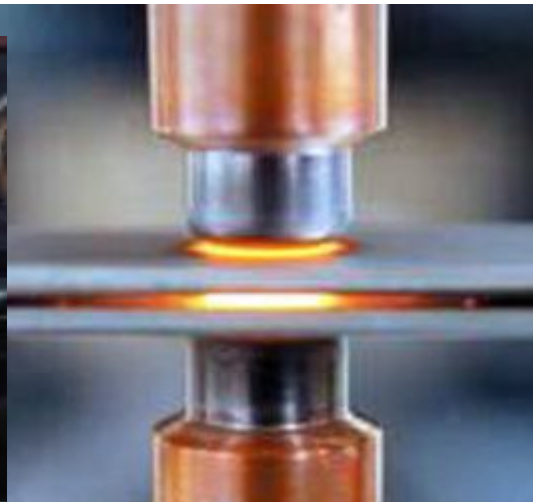
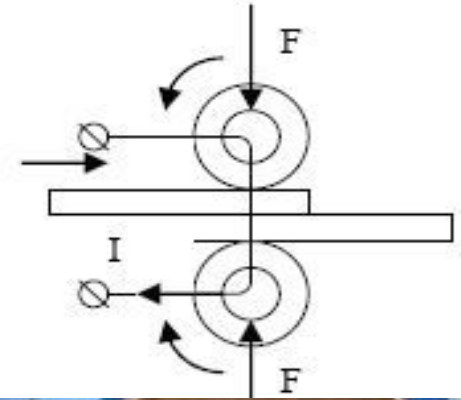
1. Стыковая сварка



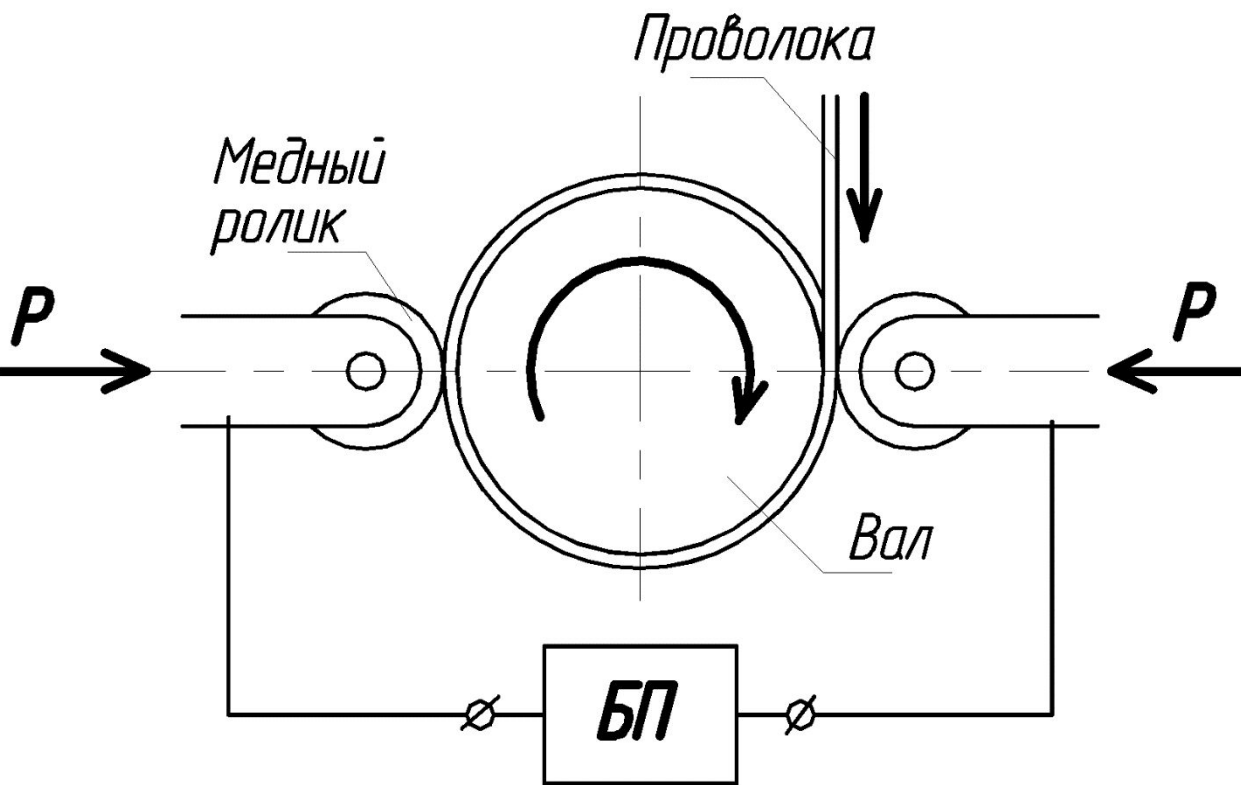
2. Точечная



3. Роликовая



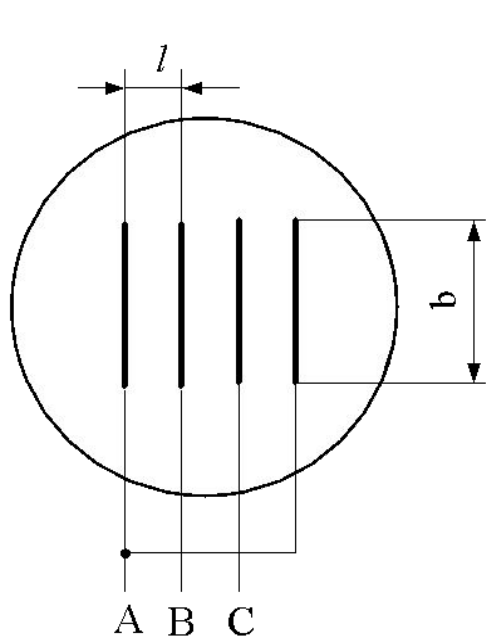
# НАПЛАВКА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ



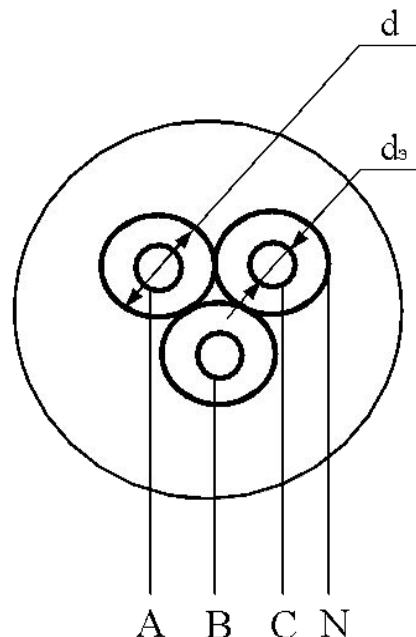
# ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ

- Нагрев воды происходит за счет протекания электрического тока через теплоноситель.
- Процесс нагрева происходит вследствие хаотичного движения ионов теплоносителя от анода к катоду с частотой 50 Гц (50 колебаний за одну секунду), что и вызывает быстрое повышение температуры теплоносителя.
- Эффективность нагрева зависит от свойств теплоносителя, в первую очередь, от количества примесей в нем.

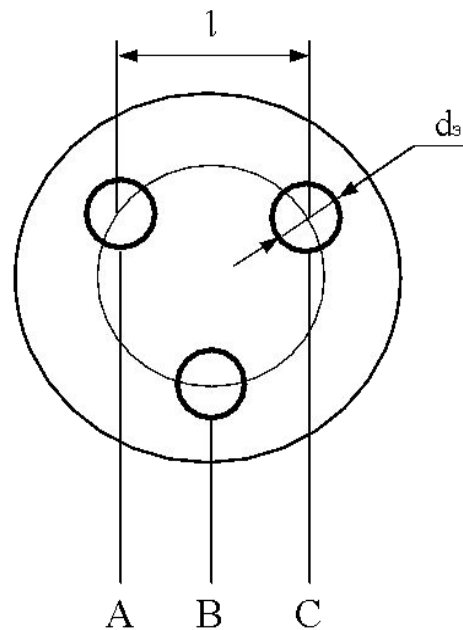
# ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ



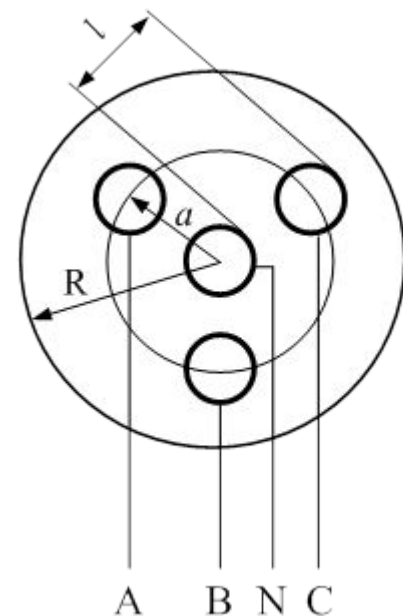
Плоская  
электродная



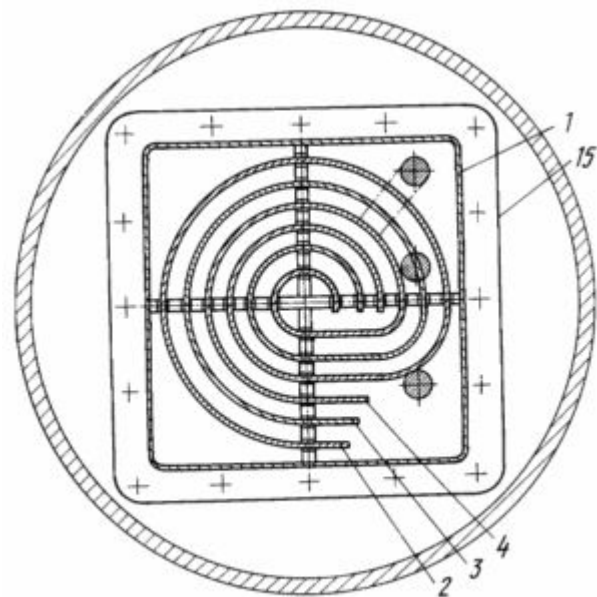
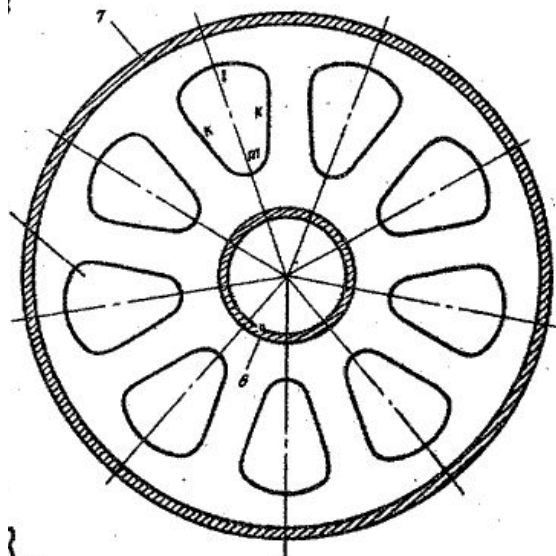
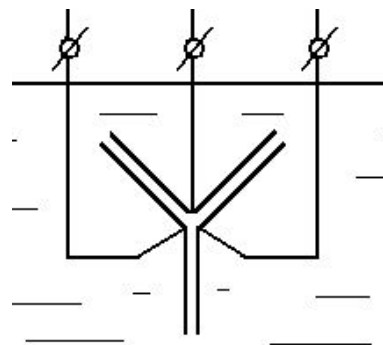
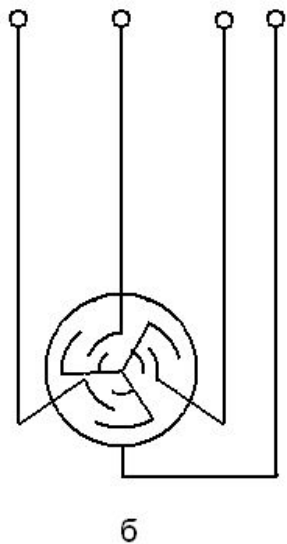
Коаксиальная



3х и 4х  
стержневая



# ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ



Фиг. 2

# ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ

- **Регулирование мощности (температуры):**
  - Переключение числа секций
  - Изменение объема жидкости охваченного током
  - Изменение скорости жидкости
- **Недостатки**
  - Возможность нагрева только электропроводящих материалов
  - Значительное изменение мощности в процессе нагрева
  - Электроопасность
  - Влияние электрического тока на нагреваемый материал



# ЭЛЕКТРОНАГРЕВ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

- Прямой нагрев
- Косвенный нагрев

# КОСВЕННЫЙ НАГРЕВ

- **ДОСТОИНСТВА:**

- Возможность нагрева проводящих и не проводящих материалов (до  $1500^{\circ}\text{C}$ )
- Отсутствие воздействия электрического тока на нагреваемый материал
- Возможность использования как постоянного, так и переменного тока

- **НЕДОСТАТКИ:**

- Низкий срок службы
- Затруднительность или невозможность ремонта
- Более высокий расход энергии (по сравнению с прямым нагревом)

# КОСВЕННЫЙ НАГРЕВ

- **Регулирование мощности (температуры):**
  - Переключение числа секций
  - Переключение со «звезды» на «треугольник»
- **Виды нагревателей**
  - Открытые
  - Закрытые
  - Герметичные

# КОСВЕННЫЙ НАГРЕВ

- Требования предъявляемые к материалам используемым для нагревательных элементов:
  - Жаростойкость
  - Жаропрочность
  - Высокое электрическое сопротивление
  - Малый температурный коэффициент сопротивления  $[\rho = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha_t \cdot (t - 20))]$
  - Постоянство размеров
  - Легкая обрабатываемость
  - Низкая стоимость

# КОСВЕННЫЙ НАГРЕВ

- **Материалы для нагревательных элементов:**
  - **Металлические**
    - Вольфрам, молибден, тантал, необий
    - Сталь, нихромы, фехраль, константан
  - **Неметаллические**
    - Графит, сорбит, карбид, карборунд, уголь
    - Окислы тория, циркония, титана
    - Металлокерамика

# ТРУБЧАТЫЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬ

- **Трубчатый электронагреватель (ТЭН)** — электронагревательный прибор в виде металлической трубки, заполненной теплопроводящим электрическим изолятором. Точно по центру изолятора проходит токопроводящая нихромовая нить определённого сопротивления для передачи необходимой удельной мощности на поверхность



# ТРУБЧАТЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТЭНЫ)

ТЭН\_ **100** **A** **13** **3.15** **P** **220** **R30**

Развернутая длина	Условное обозначение длины контактных стержней	<b>Ш</b> Диаметр, мм	Номинальная мощность, кВт	Условное обозначение нагреваемой среды и материала оболочки	Номинальное напряжение, В	Радиусгиба	крепёж
ТЭН 100	A	13	3,15	P	220	R30	Ш

**Таблица условных обозначений длины контактных стержней:**

обозначение	Длина в мм
A	40
B	65
C	100
D	125
E	165
F	250
G	400

# ТРУБЧАТЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТЭНЫ)

ТЭН 100 А 13 3.15 Р 220 R30

Диаметр трубки ТЭН: 18; 16; 13; 10; 8.5; 8.0; 7.4; 6.5 мм

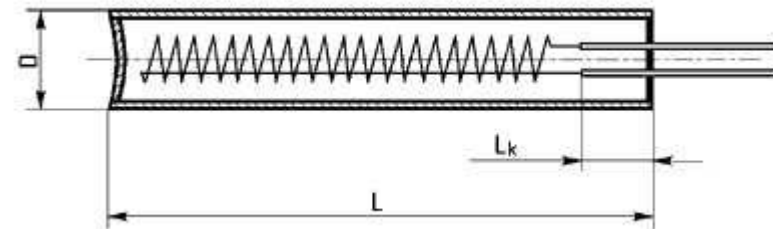
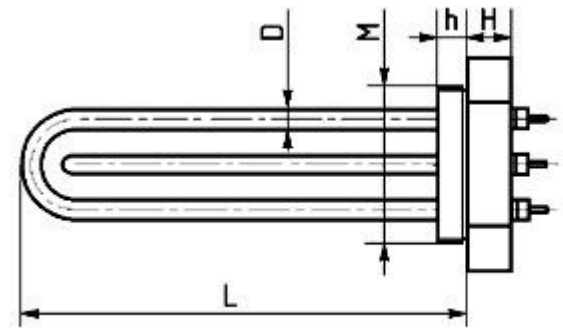
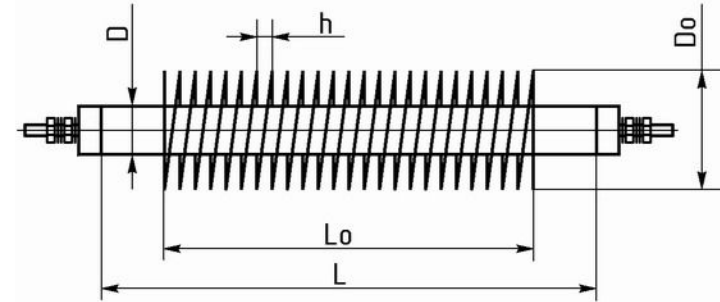
Углеродистая сталь, нержавеющая сталь, медь, латунь

ТЭНЫ для нагрева <b>спокойного воздуха</b> , газов и смесей	-	S, T
ТЭНЫ для нагрева <b>движущегося воздуха</b> , газов и смесей	-	O, K, R, N
ТЭНЫ для нагрева <b>литейных форм</b> и пресс-форм	-	L
ТЭНЫ для нагрева <b>жиров</b> и масел	-	Z
ТЭНЫ для нагрева и кипячения <b>воды</b> и растворов	-	P
ТЭНЫ для нагрева растворов <b>кислот</b> и <b>щелочей</b>	-	J



# ТРУБЧАТЫЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТЭНы)

- Трубчатые электронагреватели с оребрением (ТЭНР)
- Блок ТЭН (ТЭНБ)
- Трубчатые электронагреватели с патронного типа (ТЭНП)



# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

- *Нагревательные провода, кабели, ленты* относят к протяженным нагревательным устройствам.

Их применяют в рассредоточенных тепловых процессах, непосредственно связанных с содержанием животных, птицы, выращиванием растений в защищенном грунте, хранением сельскохозяйственной продукции.

Такие процессы относят к низкотемпературным (5-40°C), с низкой плотностью тепловых нагрузок (100-1000 Вт/м<sup>2</sup>)

# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

- **виды нагревательных кабелей:**
  - Резистивные
  - Саморегулирующиеся
  - Зональные

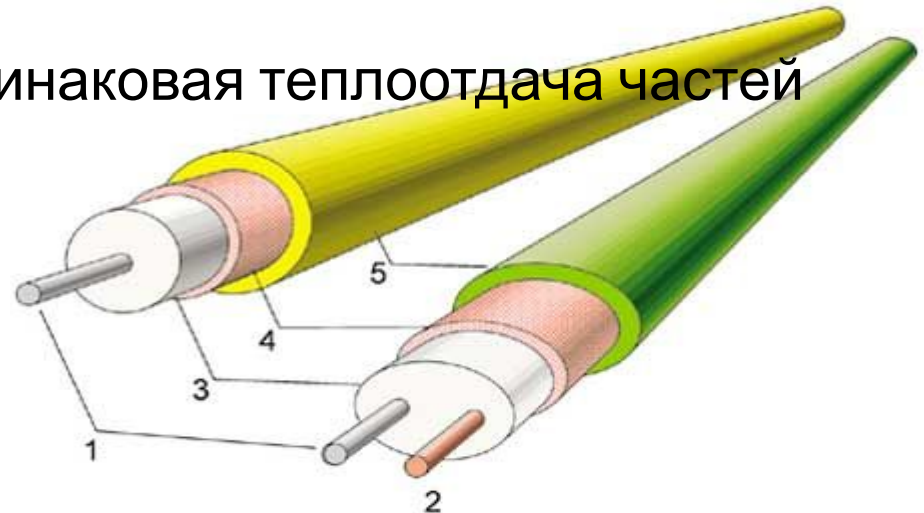
# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

## Резистивные

В этих кабелях тепло выделяется нагревательной жилой, окруженной изоляцией, экранами и защитными оболочками.

Основное достоинство - они относительно дешевы по сравнению с другими видами кабелей. Монтаж нагревательных секций на объекте занимает мало времени и несложен.

Основной недостаток - одинаковая теплоотдача частей провода.



# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

## Саморегулирующиеся

Тепловыделяющий элемент - специальная тепловыделяющая пластиковая матрица, заполняющая пространство между двумя токопроводящими жилами.

Важная особенность саморегулирующихся кабелей состоит в том, что тепловыделение может изменяться по длине в зависимости от локальных теплотерь. При повышении температуры сопротивление пластмассы возрастает и тепловыделение падает, благодаря чему создается эффект саморегулирования.

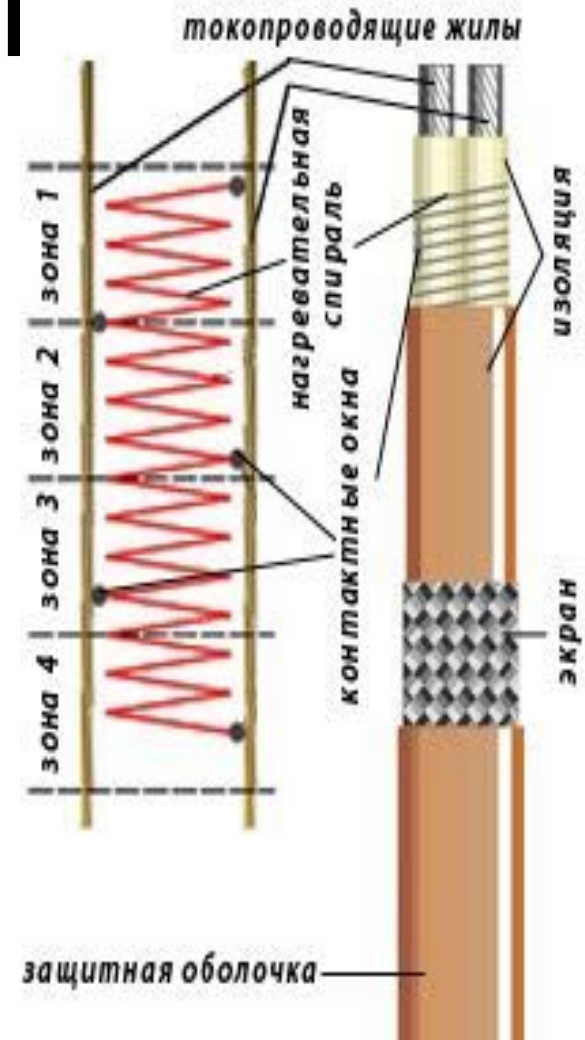


# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

## Зональные

Тепловыделяющий элемент - спирально наложенная на две изолированные токопроводящие жилы проволока из сплава высокого сопротивления.

Шаг соединения спирали с токопроводящими жилами примерно 1 м. Таким образом, формируются зоны тепловыделения, соединенные параллельно. Зональные кабели во многом подобны резистивным, но имеют одно из преимуществ саморегулирующихся: их можно резать непосредственно на объекте (но для этого необходимо знать точное местонахождение зонных контактов), тем самым уменьшается перерасход кабеля



# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, КАБЕЛИ, ЛЕНТЫ

## Элементы нагревательные гибкие ленточные и кабельные (ЭНГЛ)

Предназначены для разогрева трубопроводов, подогрева воды в бассейнах, емкостях, цистернах, для отопления небольших помещений, строительных бытовок, гаражей, контейнеров, киосков, теплиц и пр.

Надежная электро и гидроизоляция.

Напряжение питания 220 В.

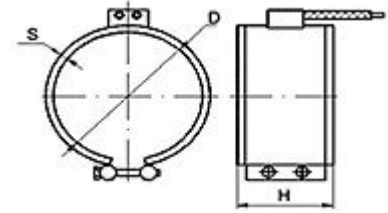
**ЭНГЛ** –представляют собой плетеную ленту из стеклонити, в основе которой находятся восемь нагревательных жил из сплава с высоким электрическим сопротивлением, снаружи нагреватели снабжены водонепроницаемой оболочкой из композиции полиэтилена.

**ЭНГЛУ** в отличие от **ЭНГЛ** имеют обмотку из стеклонити, пропитанную органосиликатным материалом.



# ПРОЧИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- Хомутовый электронагреватель (ХН)
- Электроконфорки чугунные бытовые (ЭКЧ, КЭ)





# ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ

## *Свойства и характеристики электрической дуги.*

- Электрическая дуга — это устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах или парах металлов, характеризующийся высокой плотностью тока и низким значением катодного падения напряжения. Прохождение электрического тока в ионизированных газах не сопровождается электролизом, поэтому для дугового нагрева используется и переменный, и постоянный ток.
- Электрическая дуга характеризуется высокой плотностью тепловой энергии, передаваемой нагреваемому телу потоком ускоренных в электрическом поле ионов и концентрированным инфракрасным излучением столба дуги. Имея температуру от 5000 до 12000° С, дуга способна плавить и испарять самые тугоплавкие металлы и сплавы.

# ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ

Горение электрической дуги сопровождается следующими эффектами, обуславливающими области ее применения:

- 1) **большим выделением тепла на электродах**. На этом основана техника электродуговой сварки и плавка металлов в электродуговых печах прямого нагрева;
- 2) **высокоинтенсивным инфракрасным излучением**. Это свойство используется в электродуговых печах косвенного нагрева;
- 3) **мощным потоком видимого света**. Это свойство дуги используется в электродуговых осветительных приборах (прожекторах);
- 4) **интенсивным ультрафиолетовым излучением**. Как генератор ультрафиолетовых лучей электрическая дуга не используется вследствие низкого энергетического к. п. д.

# ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ

Электрическая дуга классифицируется по следующим основным признакам.

**1. По роду среды, в которой происходит дуговой разряд:**

- а) открытая дуга, горящая в воздухе;
- б) закрытая дуга, горящая под флюсом;
- в) дуга, горящая в среде защитных газов.

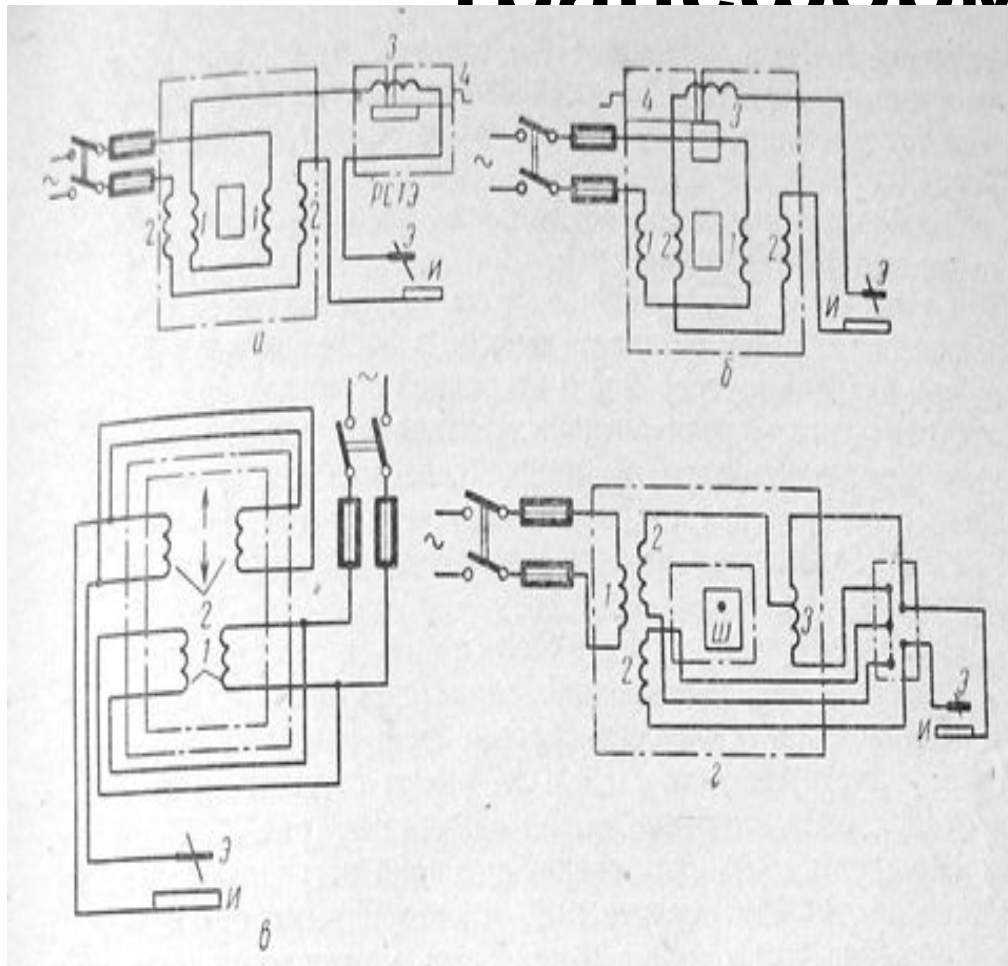
**2. По роду тока:**

- а) дуга постоянного тока;
- б) дуга переменного тока;
- в) дуга трехфазного тока.

# ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ

- **Параметры источников сварочного тока.** Источники сварочного тока должны обеспечить **устойчивое горение дуги, стабильность режимов сварки, безопасность обслуживания установок.**
- Эти требования выполняются надлежащим выбором параметров источников питания: **напряжения холостого хода, внешней характеристики, способа регулирования сварочного тока.**
- **Напряжение холостого хода** выбирают из условия надежного зажигания дуги и безопасности обслуживания.
- **Напряжение зажигания дуги переменного тока** составляет 50—55 В, следовательно, напряжение холостого хода не может быть ниже этого значения. Верхний предел значений  $U_0$  ограничивается условиями безопасности и составляет 60—75 В, а для сварочных трансформаторов на 2000 А оно не должно превышать 90 В.
- **Зажигание дуги постоянного тока** происходит при более низких напряжениях, порядка 30—40 В. Напряжение холостого хода источников питания постоянного тока находится в пределах 45—90 В.

# ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА. Сварочные трансформаторы



**а** - с нормальным магнитным рассеянием и отдельным регулирующим дросселем (типа СТЭ);

**б** - однокорпусного исполнения со встроенным дросселем (типа СТН);

**в** - с увеличенным магнитным рассеянием (типа ТС);

**г** - с магнитным шунтом (типа СТАН);

**1** - первичная обмотка;

**2** - вторичная обмотка;

**3** - обмотка регулирующего дросселя;

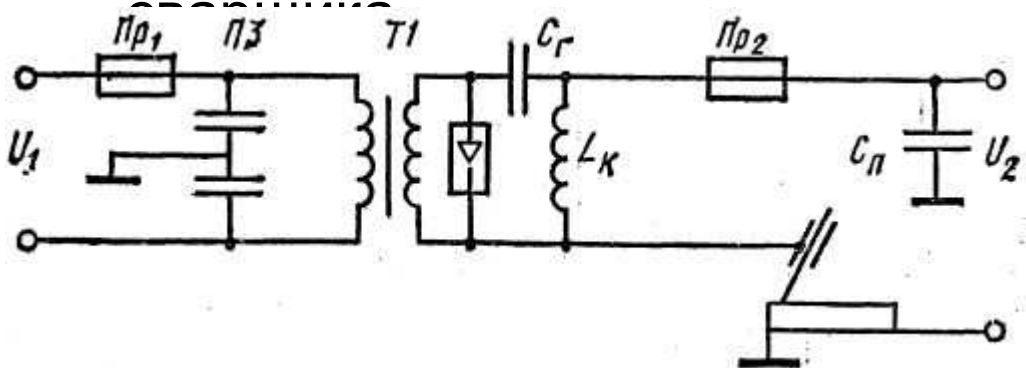
**4** - подвижный пакет магнитопровода;

**Ш** - магнитный шунт;

**Э** - электрод; **И** - изделие.

# ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА. Осцилляторы

- Для повышения устойчивости сварочной дуги переменного тока, особенно при сварке на малых токах, применяются специальные аппараты — осцилляторы. Осциллятор представляет собой маломощный искровой генератор, преобразующий ток низкого напряжения промышленной частоты в ток высокой частоты (150—500 кГц) высокого напряжения (2500 – 6000 В).
- Высокочастотные колебания подводятся к дуговому промежутку сварочного аппарата. Высокое напряжение способствует облегчению возбуждения и стабилизации дуги, а высокая частота делает этот ток безопасным для



# ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА. Генераторы

- Виды:
  - Дизельные
  - Бензиновые
  - Коллекторные (сняты с производства)



# ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА.

## Генераторы

- Виды:

- **Дизельные генераторы.** Исходя из названия понятно, устройство работает на дизельном топливе. Такой генератор отличается высокой вырабатываемой мощностью, чаще всего применяется на строительных площадках, трубопроводах. Данная техника имеет достаточно крупные габариты, в основном монтируется на автомобильном шасси.
- **Бензиновые генераторы** наиболее оптимальный вариант для применения в бытовых условиях. Мировыми производителями налажен выпуск подобных устройств, имеющих небольшую массу и размеры, конечно по мощности они несравнимы с промышленными агрегатами, но для выполнения основных сварочных бытовых работ подходят вполне
- **Коллекторные генераторы** имеют простую конструкцию и сравнительно невысокую стоимость, основным минусом устройства является то, что условия эксплуатации, зачастую очень неблагоприятные, приводят к быстрому износу коллекторных щеток, именно этот момент является основной болезнью такого оборудования.





# **ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА. Сварочные выпрямители**

# ИНФРАКРАСНЫЙ НАГРЕВ

- **Инфракрасное излучение** — электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны  $\lambda = 0,74$  мкм и частотой 430 ТГц) и микроволновым радиоизлучением ( $\lambda \sim 1—2$  мм, частота 300 ГГц).
- Весь диапазон инфракрасного излучения делят на три составляющих:
  - коротковолновая область:  $\lambda = 0,74—2,5$  мкм;
  - средневолновая область:  $\lambda = 2,5—50$  мкм;
  - длинноволновая область:  $\lambda = 50—2000$  мкм.

# ИНФРАКРАСНЫЙ НАГРЕВ

Аббревиатура	Длина волны	Характеристика
Near-infrared, NIR	0.75-1.4 мкм	Ближний ИК, ограниченный с одной стороны видимым светом, с другой — прозрачностью воды, значительно ухудшающейся при 1,45 мкм. В этом диапазоне работают широко распространенные инфракрасные светодиоды и лазеры для систем оптической связи. Видеокамеры и приборы ночного видения на основе ЭОП также чувствительны в этом диапазоне.
Short-wavelength infrared, SWIR	1.4-3 мкм	Поглощение электромагнитного излучения водой значительно возрастает при 1450 нм. Диапазон 1530—1560 нм преобладает в области дальней связи.
Mid-wavelength infrared, MWIR	3-8 мкм	В этом диапазоне начинают излучать тела, нагретые до нескольких сотен градусов Цельсия. В этом диапазоне чувствительны тепловые головки самонаведения систем ПВО и технические <a href="#">тепловизоры</a> .
Long-wavelength infrared, LWIR	8-15 мкм	В этом диапазоне начинают излучать тела с температурами около нуля градусов Цельсия. В этом диапазоне чувствительны <a href="#">тепловизоры</a> для приборов ночного видения.
Far-infrared, FIR	15 — 1000 мкм	

# ИНФРАКРАСНЫЙ НАГРЕВ

- **Источники ИКИ**
  - **светлые**

Лампы накаливания, ИКЗ, ИКЗК, ИКЗС, КИ

- **темные**

Нагретые поверхности, панели, плиты, ТЭНы



# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

- Нагрев проводников в переменном электромагнитном поле вихревыми токами наводимыми по закону электромагнитной индукции.
- Состав: индуктор, трансформатор, генератор ВЧ, система охлаждения
- *Классификация (по частоте)*
  - Низкой (промышленной) частоты – 50 Гц
  - Средней (повышенной) частоты – до 10 кГц
  - Высокой частоты – свыше 10 кГц

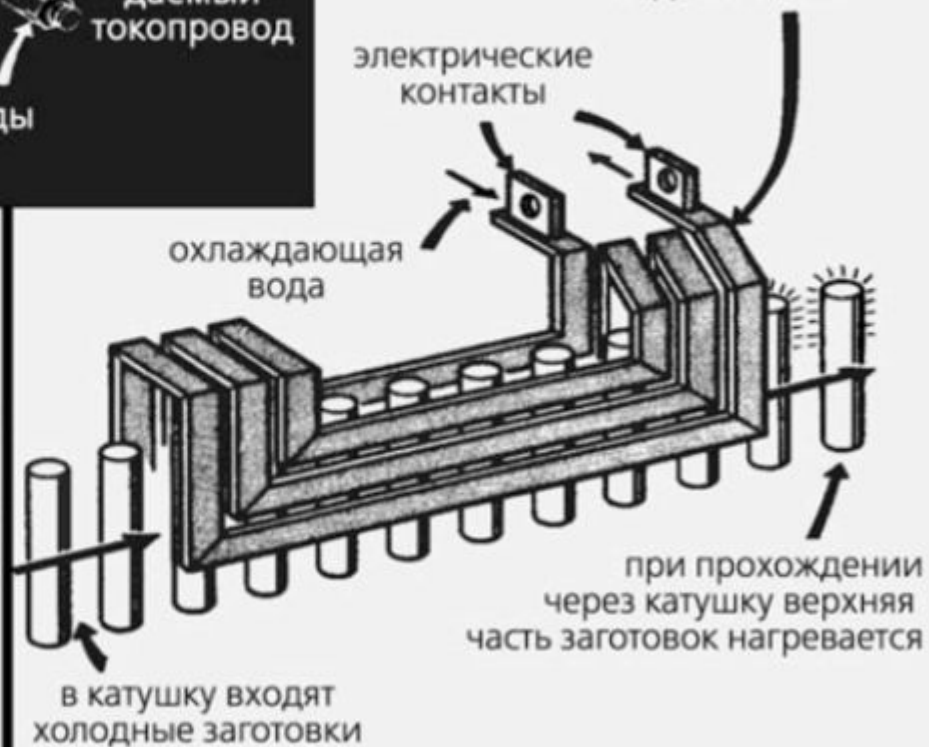
# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

многовитковая соленоидальная катушка



прямоугольная медная трубка со сварными соединениями

электрические контакты



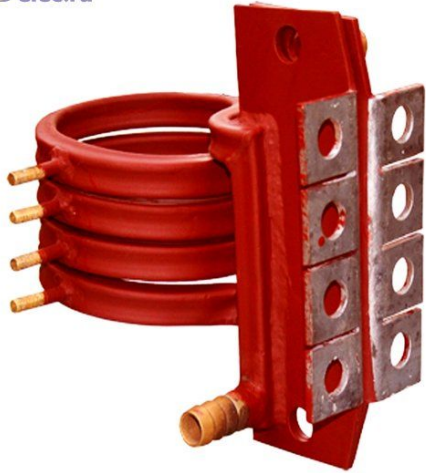
простой одновитковый индуктор

канальная или щелевая катушка

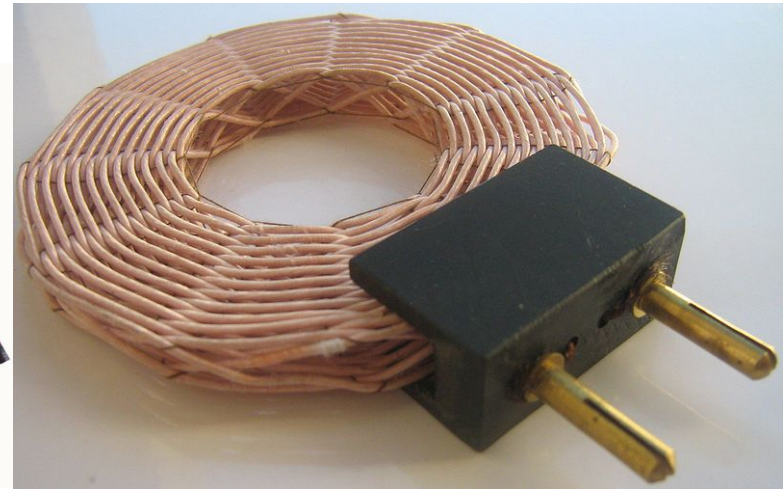
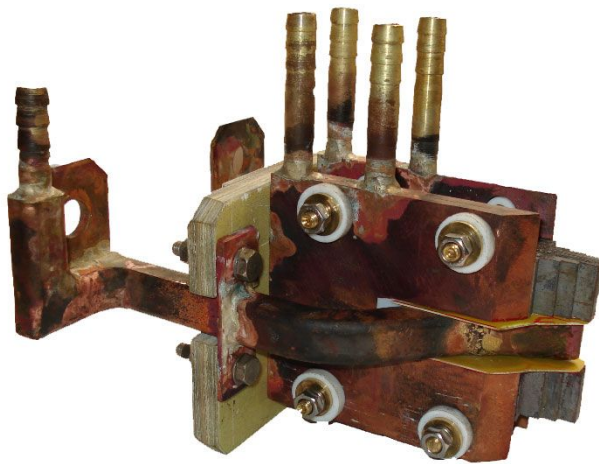
индукторы могут быть штампованными с встроенными средствами охлаждения

# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

elec.ru



Индуктор закалочный



# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

- Нагревательный индуктор представляет собой катушку индуктивности, входящую в состав рабочего колебательного контура с компенсирующей конденсаторной батареей.
- Раскачку контура осуществляют либо с помощью электронных ламп, либо с помощью полупроводниковых электронных ключей.
- На установках с рабочей частотой до 300 кГц используют инверторы на IGBT-сборках или MOSFET-транзисторах. Такие установки предназначены для разогрева крупных деталей.
- Для разогрева мелких деталей используются высокие частоты (до 5 МГц, диапазон средних и коротких волн), установки высокой частоты строятся на электронных лампах.



# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

## Преимущества

- Высокоскоростной разогрев или плавление любого электропроводящего материала.
- Возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в жидкости, в вакууме.
- Нагрев через стенки защитной камеры, изготовленной из стекла, цемента, пластмасс, дерева — эти материалы очень слабо поглощают электромагнитное излучение и остаются холодными при работе установки.
- За счёт возникающих МГД (магнитогидравлических)-усилий происходит интенсивное перемешивание жидкого металла, вплоть до удержания его в подвешенном состоянии в воздухе или защитном газе — так получают сверхчистые сплавы в небольших количествах (левитационная плавка, плавка в электромагнитном тигле).
- Отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения факела в случае газопламенного нагрева, или материалом электрода в случае дугового нагрева. Помещение образцов в атмосферу инертного газа и высокая скорость нагрева позволят ликвидировать окалинообразование.
- Нет загрязнения воздуха, т. к. отсутствуют продукты горения.
- Удобство эксплуатации за счёт небольшого размера индуктора.
- Индуктор можно изготовить особой формы — это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному непрогреву.
- Возможность местного и избирательного нагрева.
- Идеален для проведения поверхностной закалки деталей.
- Лёгкая автоматизация оборудования и конвейерных производственных линий. Простота управления циклами нагрева и охлаждения. Простая регулировка и удерживание температуры, стабилизация мощности, подача и съём заготовок

# ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

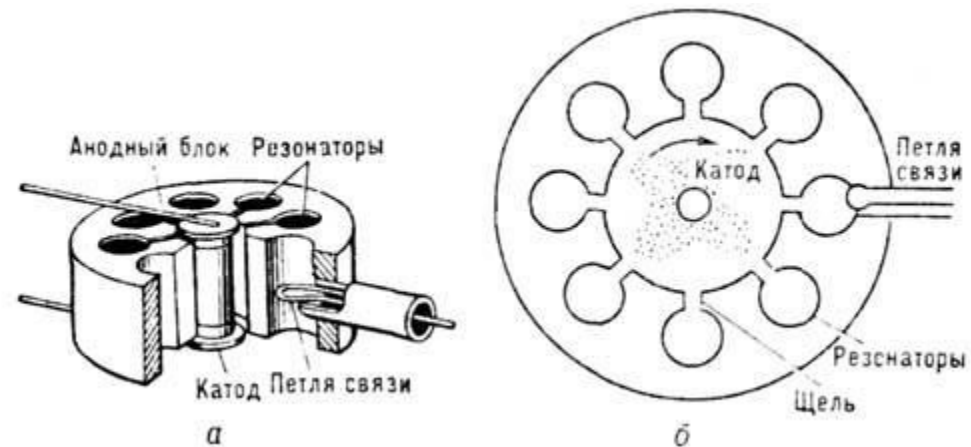
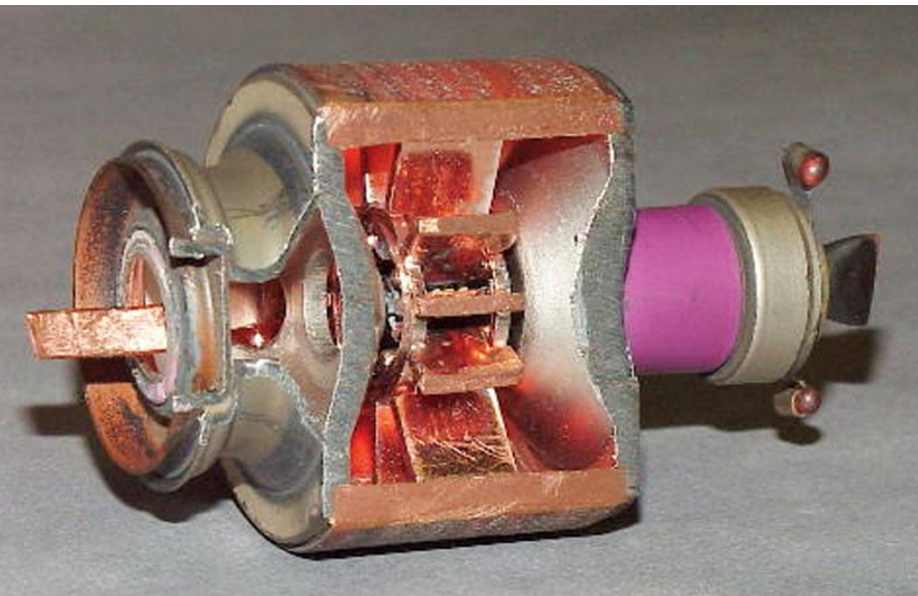
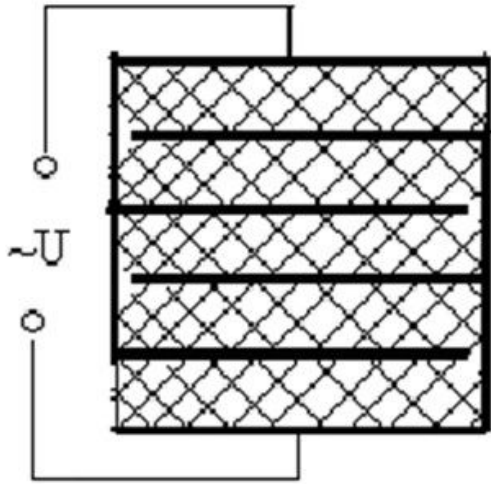
## Недостатки

- Повышенная сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для проектирования установок, их настройки и ремонта.
- При плохом согласовании индуктора с заготовкой требуется большая мощность на нагрев.
- Требуется мощный источник электроэнергии для питания установки индукционного нагрева, а также насос и бак с охлаждающей жидкостью для охлаждения индуктора (чиллер), которые в полевых условиях могут отсутствовать.
- Несмотря на небольшие размеры индуктора, агрегат индукционного нагрева в целом достаточно громоздок и маломобилен и больше подходит для стационарной установки в помещении, чем для выездных работ.

# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

- **Диэлектрический нагрев** - метод нагрева диэлектрических материалов переменным во времени электрическим полем.
- Если поле изменяется со сверхвысокой (СВЧ) частотой (в диапазоне 0,4 - 10 ГГц), то это СВЧ нагрев, если с частотой в диапазоне 10 - 100 кГц, то - ТВЧ нагрев (нагрев токами высокой частоты).
- ТВЧ нагрев диэлектриков проводят в конденсаторах, а СВЧ нагрев - в волноводах и объемных резонаторах. Т.к. глубина проникновения электромагнитного поля в диэлектрическую среду определяется частотой (чем выше частота, тем меньше глубина проникновения и наоборот), то на ТВЧ как правило глубина прогрева значительно больше, чем на СВЧ.
- Отличительной особенностью диэлектрического нагрева является объемность тепловыделения в нагреваемой диэлектрической среде. Диэлектрический нагрев - объемный нагрев, однако не обязательно однородный. Если глубина проникновения больше толщины прогреваемого слоя, что обычно характерно для ТВЧ нагрева, то тепловыделение более однородно. При глубине проникновения меньшей, чем толщина прогреваемого слоя (что обычно характерно для СВЧ энергоподвода), то объемный нагрев не является однородным. Прогревается только слой, в который проникает электромагнитное поле. Более глубокие слои остаются непрогретыми. Кроме того, если прогреваемый объект своими размерами превышает длину волны поля в среде нагреваемого объекта, то в нем, в силу волнового характера поля, возникает картина стоячих волн, что тоже приводит к неоднородности нагрева.

# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

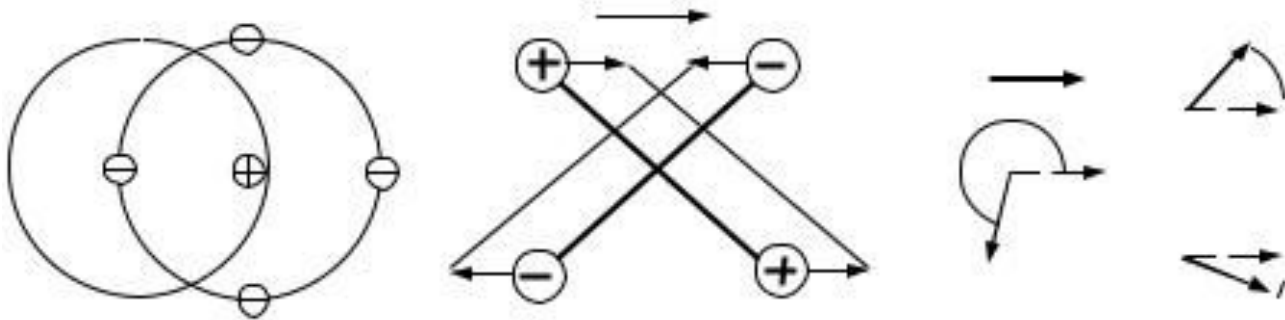


# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

- Диэлектриками называют тела, в которых электроны и ионы связаны между собой и не могут свободно перемещаться под действием электрического поля, а лишь смещаются одни относительно других или поворачиваются в пространстве.
- Электрическое поле не создает в диэлектрике электрического тока как это имеет место в проводниках. Явления, возникающие в диэлектриках под действием электрического поля, называют поляризацией.
- Поляризация – это процесс смещения связанных зарядов, приводящий к появлению электрического момента у любого макроскопического элемента объема.
- Существуют различные виды поляризации. Рассмотрим три наиболее типичных: электронную, ионную и дипольную

# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

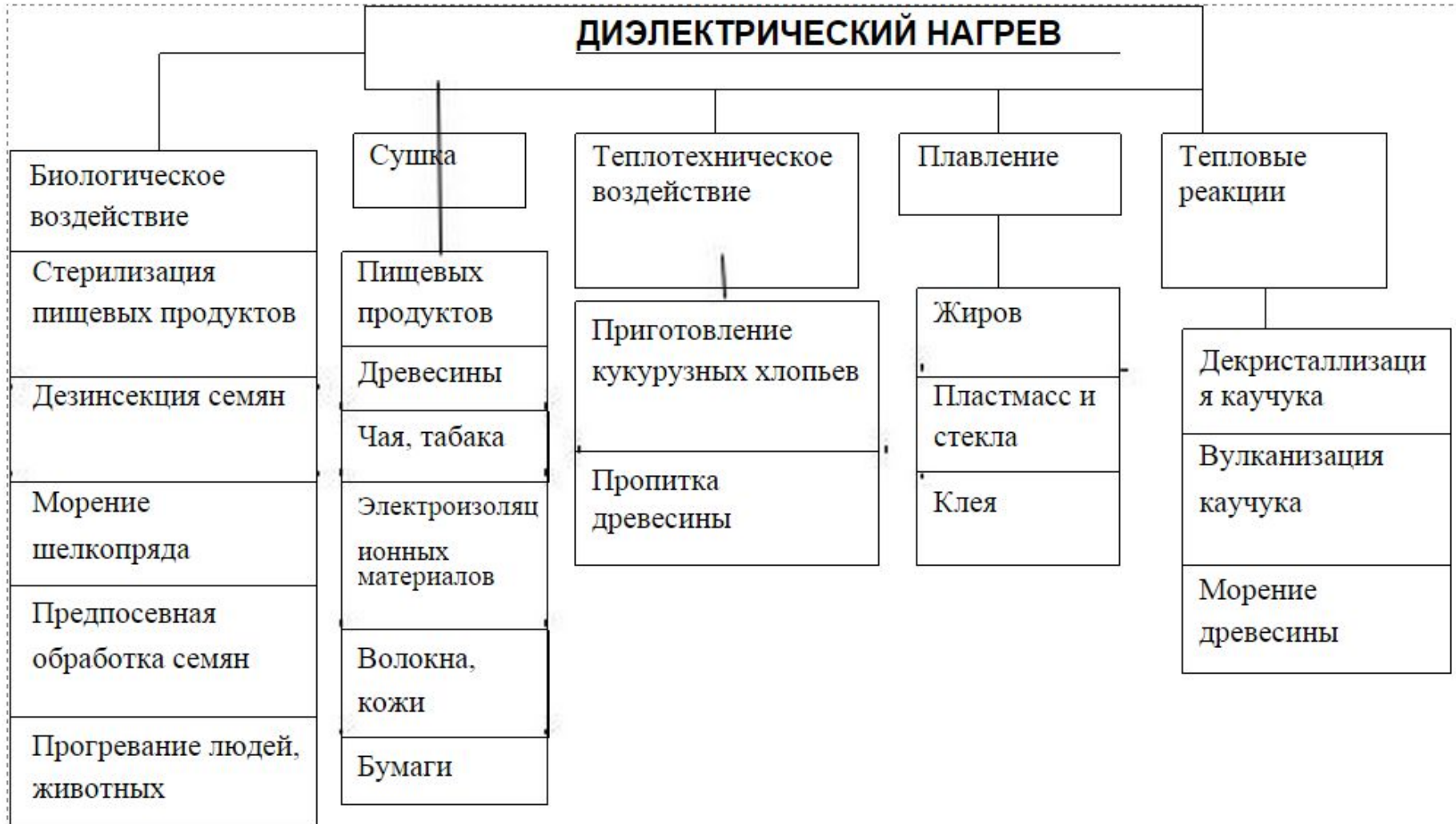
- **Электронная поляризация** (рисунок а) – это смещение под действием внешнего электрического поля орбит, по которым движутся отрицательно заряженные электроны вокруг положительно заряженного атомного ядра. Этот вид поляризации наблюдается во всех ионах или атомах диэлектрика и осуществляется за очень короткое время  $10^{-14}$  с.
- **Ионная поляризация** (рисунок б) – смещение относительно друг друга ионов, составляющих молекулу. Время  $\tau$  установления  $10^{-14}$  с.
- Процессы электронной и ионной поляризации можно рассматривать как разновидности упругой (деформационной или безинерционной) поляризации, которую обуславливает энергия электрического поля, но не связаны с выделением тепла.
- **Сущность дипольной** (ориентационной или инерционной) поляризации сводится (по Дебаю) к повороту (ориентации) диполей в направлении электрического поля (рисунок в).



Некоторые виды поляризации: а – электронная; б – ионная; в – дипольная

# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

Области применения диэлектрического нагрева



# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

- Преимущества
  - Чистый бесконтактный метод, позволяющий проводить разогрев в вакууме, защитном газе и т.п.
  - Высокая скорость разогрева.
  - Выделение тепла идет во всем объеме заготовки, что важно для диэлектриков, обладающих плохой теплопроводностью.
- Недостатки
  - Сложность оборудования обычно более высока по сравнению с оборудованием для других методов нагрева. Ремонт и настройка требует квалифицированного персонала.
  - Необходима электроэнергия, отсутствующая в полевых условиях.



