

ФГБОУ ВО НИУ “МЭИ”  
Кафедра ЭПП

## «Печи сопротивления»

Выполнили:  
Гороховский А.  
Яковлев Д.  
Третьяков П.  
Есин Д.  
Группа: ЭЛ-08м-16

Москва 2016

# Электрическая печь сопротивления (ЭПС)

2

Это обширный класс электротермических установок, предназначенных для нагрева различных изделий в результате пропускания тока либо через сами изделия (устройства прямого действия) либо через систему проводников (устройства косвенного действия)

ЭПС широко используются в промышленности, лабораторных и научных исследованиях для плавления, сушки, предварительного нагрева, обжига, закалки и других видов термической обработки разнообразных материалов.



**Печь сопротивления СНО-7.5.5/11**

# Преимущества ЭПС

3

- ? Возможность равномерного нагрева изделий до температур в 2500 °С
- ? Компактность конструкции и высокая мощность нагрева
- ? Автоматизация управления, возможность интегрирования в промышленные технологические цепочки
- ? Простота регулировки рабочих режимов, в том числе при сложных графиках температурного воздействия
- ? Использование эффективных средств герметизации – вакуум, среда защитных газов, совместимость с режимами специальной атмосферы при химико-термическом воздействии (при азотировании, цементации и т.п.)

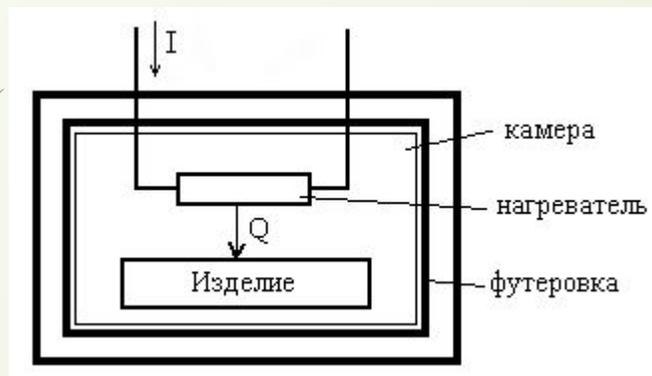
# Классификация ЭПС:

4

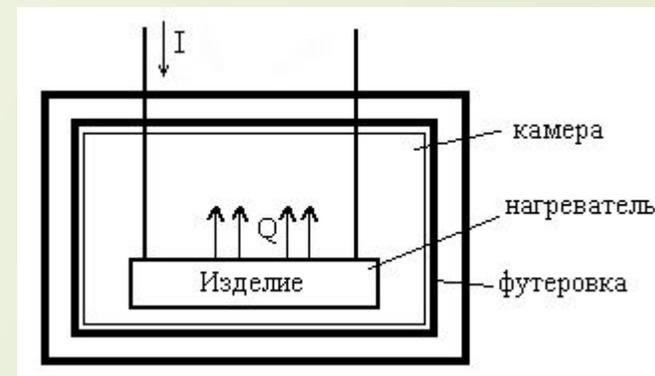
- ? По способу превращения электрической энергии в тепловую
- ? По технологическому назначению
- ? По температурному режиму
- ? По режиму работы
- ? По типу конструкции

# Классификация ЭПС по способу превращения электрической энергии в тепловую

Различают печи **прямого** и **косвенного** нагрева



Печь косвенного действия



Печь прямого нагрева

На производстве в большинстве случаев используются установки косвенного нагрева.

# Классификация печей ЭПС по технологическому назначению

По технологическому назначению печи можно разделить на три группы:

- ? термические печи для различных видов термической и термохимической обработки черных и цветных металлов, стекла, керамики, металлокерамики, пластмасс и других материалов;
- ? плавильные печи для плавки легкоплавких цветных металлов и химически активных тугоплавких металлов и сплавов;
- ? сушильные печи для сушки лакокрасочных покрытий, литейных форм, обмазок сварочных электродов, металлокерамических изделий, эмалей и т. п.

# Классификация ЭПС по температурному режиму

7

Печи разделяются по температурному режиму на низко-, средне- и высокотемпературные.

У **низкотемпературных** ЭПС верхняя температурная граница лежит в пределах 600–650°C и процессы теплообмена идут с значительной или даже преобладающей ролью конвекции. Для интенсификации процесса теплопередачи низкотемпературные печи обычно снабжают вентилятором и нагреватель иногда размещается в отдельной камере.

**Среднетемпературные** ЭПС имеют верхнюю температурную границу 1200–1250 °С, определяемую возможностью применения для нагревательных элементов специальных сплавов сопротивления. В средне- и высокотемпературных температурных печах основное тепло от нагревателя к изделию передается излучением. В таких печах установка вентилятора не нужна, но необходимо наличие оптической связи между нагревателем и изделием, т.е. они должны быть размещены в общей камере.

**Высокотемпературные** ЭПС имеют верхнюю температурную границу 2500 °С. В качестве нагревательных элементов обычно используют неметаллические нагреватели (карборундовые, графитовые, угольные). Для надежной работы такие нагреватели должны разогреваться постепенно при малой мощности (иначе они растрескаются). Учет специфических особенностей приводит к необходимости применять в высокотемпературных печах средства регулирования подводимого напряжения (автотрансформатор).

# Классификация ЭПС по режиму работы

Различают печи:

? **Периодического** (сачочного) режима работы  
Разнообразны по конструкции. Применяют в основном в индивидуальном или мелкосерийном производстве.

Основные

виды:

- Колпаковые
- Элеваторные
- Камерные
- Шахтные

□ **Непрерывного** (методического) режима работы

Отличаются в основном механизмами перемещения нагреваемых изделий в рабочем пространстве нагреваемого изделия.

Основные

виды:

- Конвейерная
- Толкательная



Камерная  
печь



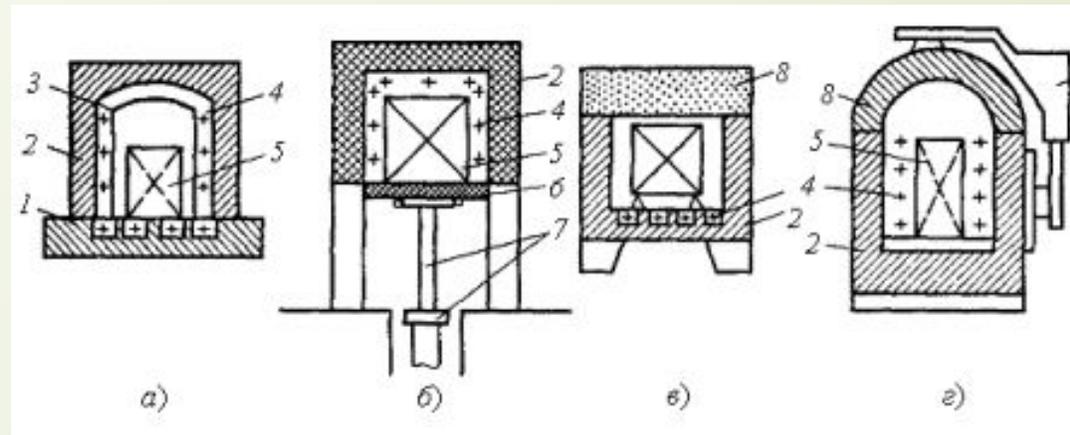
Конвейерная  
печь

# ЭПС периодического действия (садочные)

9

Цикл работы садочной печи включает загрузку изделия, тепловую обработку по заданному режиму и выгрузку. Для такой печи характерно неизменное положение нагреваемого тела (садки) в течение всего времени пребывания в печи. Печь может работать круглосуточно (тогда циклы непрерывно следуют друг за другом) или с перерывами – в одну или две смены.

Садочные ЭПС



ЭПС садочные: а – колпаковая; б – элеваторная; в – камерная; г – шахтная; 1 – стенд; 2 – камера печи; 3 – жаропрочный муфель; 4 – нагревательные элементы; 5 – нагреваемое изделие (садка); 6 – опускающийся под; 7 – подъемное устройство; 8 – свод; 9 – механизм подъема свода

# Колпаковая ЭПС

10

Колпаковая ЭПС – печь периодического действия с открытым снизу подъемным нагревательным колпаком и неподвижным стендом.

Нагреваемые детали (садка) с помощью подъемно-транспортных устройств помещаются на стенд. Поверх них сначала устанавливается жаропрочный колпак – муфеля, а затем основной колпак камеры печи, выполненной из металлического каркаса с огнеупорной футеровкой. Нагревательные элементы расположены по боковым стенкам колпака и в кладке стенда. Питание нагревательных элементов осуществляется с помощью гибких кабелей и штепсельных разъемов.

По окончании нагрева электропитание колпака отключается и он переносится на соседний стенд, где уже установлена очередная загрузка для нагрева. Остывание садки происходит на стенде под жароупорным муфелем, что обеспечивает необходимую скорость остывания.

В колпаковых печах при каждом цикле теряется лишь теплота, запасенная в муфеле и кладке стенда, что составляет 10–15 % от теплоты, запасенной в кладке колпака.

Мощность колпаковых печей достигает нескольких сотен киловатт.



# Элеваторная ЭПС

11

Элеваторная ЭПС – печь периодического действия с открытой снизу неподвижной камерой нагрева и с опускающимся подом. Она представляет собой цилиндрическую или прямоугольную камеру, установленную обычно на колоннах на высоте 3–4 м над уровнем пола цеха.

Под печи поднимается и опускается гидравлическим или электромеханическим подъемником, который установлен под камерой нагрева. Нагреваемые изделия нагружают на тележку, затем с помощью лебедки продвигают под печь и поднимают подъемником, вдвигая в камеру.

По окончании технологического процесса под опускается и изделие снимается. В низкотемпературных печах нагреватели расположены на стенках. В высокотемпературных печах нагреватели расположены на стенках и в поду.

Элеваторные печи служат для отжига, эмалирования, цементации, обжига керамических изделий, спекания и металлизации деталей.

Печи комплектуются многоступенчатыми трансформаторами.



# Камерная ЭПС

12

Камерная ЭПС – печь периодического действия с камерой нагрева, загрузка и разгрузка садки которой производятся в горизонтальном направлении. Камерная печь состоит из прямоугольной камеры с огнеупорной футеровкой и теплоизоляцией, перекрытой сводом и помещенной в металлический кожух. Печь загружается и выгружается через закрываемое дверцей отверстие в передней части.



# Шахтная ЭПС

13

Шахтная ЭПС - представляет собой круглую, квадратную или прямоугольную шахту. Корпус печи заглублен в землю и перекрывается сверху крышкой с затвором и электроприводом. Нагревательные элементы в ней установлены обычно по боковым стенкам.



# Методические ЭПС

14

При установившемся технологическом процессе термообработки для увеличения производительности предпочтительно применять методические печи. Обычно такие печи выполняются состоящими из нескольких зон, протяженность которых зависит от конкретных условий проведения технологического процесса.

Разновидность методических печей:

- Конвейерные
- Толкательные
- Протяжные

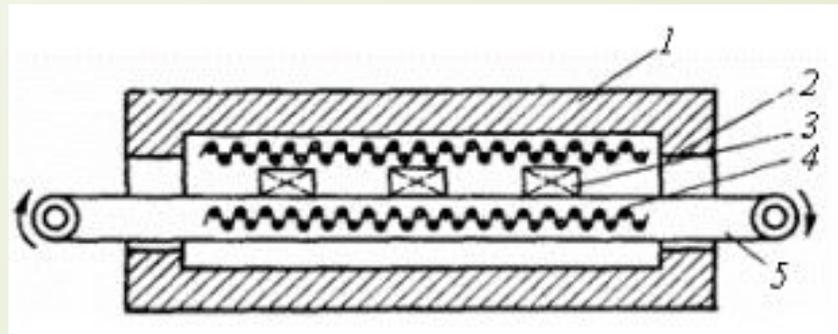
# Конвейерная ЭПС

15

Под конвейерной ЭПС представляет собой конвейер – полотно, натянутое между двумя валами, которые приводятся в движение специальными двигателями. Нагреваемые изделия укладываются на конвейер и передвигаются на нем через рабочее пространство печи.

Конвейер размещается целиком в камере печи и не остывает. Часто концы конвейера выносят за пределы печи. Нагреватели в конвейерных печах чаще всего размещаются на своде или в поду под верхней частью ленты конвейера, реже – на боковых стенках.

Конвейерные нагревательные печи в основном применяются для нагрева сравнительно мелких деталей до температуры около 1200 К.



ЭПС конвейерная: 1 – теплоизолированный корпус; 2 – загрузочное окно; 3 – нагреваемое изделие; 4 – нагревательные элементы; 5 – конвейер

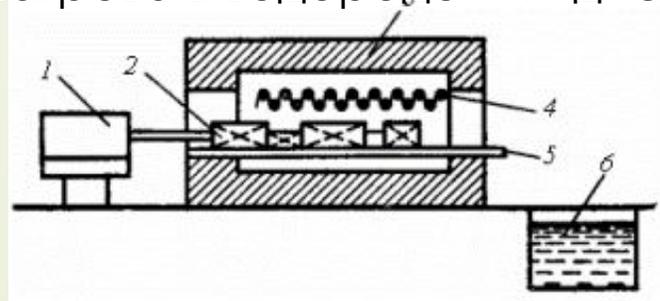
# Толкательная ЭПС

16

Для высоких температур (выше 1400 К) применяются печи непрерывного действия с перемещением садки путем проталкивания вдоль рабочего пространства – толкательные ЭПС. Они применяются для нагрева как мелких, так и крупных деталей. На поду таких печей устанавливаются направляющие в виде труб, рельсов или роликового пода, изготовленных из жароупорного материала, и по ним в сварных или литых специальных поддонах перемещаются нагреваемые изделия.

Перемещение поддонов обеспечивается электромеханическими или гидравлическими толкающими устройствами. Толкательные печи, предназначенные для нагрева крупных заготовок правильной формы, выполняют без поддонов. При этом нагреваемые изделия укладывают в печь вплотную непосредственно на направляющие.

Толкательные водородные печи предназначены для различных технологических процессов, требующих нагрева в водороде или диссоциированном аммиаке.

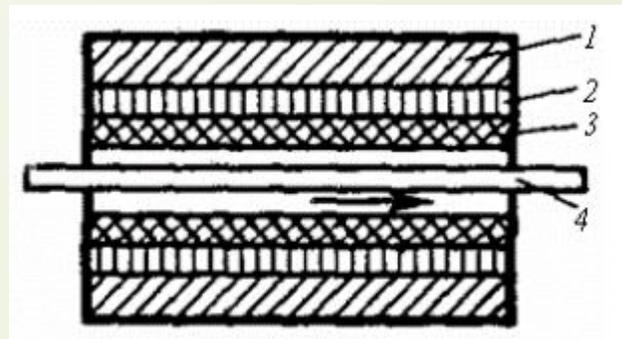


ЭПС толкательная: 1 – толкатель с приводным механизмом; 2 – нагреваемые изделия; 3 – теплоизолированный корпус; 4 – нагревательные элементы; 5 – подина печи; 6 – закалочная ванна

# Протяжная ЭПС

17

В протяжных ЭПС может применяться также смешанный способ нагрева: прямой – с помощью контактных приводных роликов и косвенный – с помощью нагревателя. Косвенный нагрев обеспечивает термообработку концов прутка в начале и в конце процесса, когда прямой нагрев не может быть осуществлен



Протяжная ЭПС: 1 – теплоизолирующий корпус; 2 – нагреватель;  
3 – муфта; 4 – нагреваемое изделие

# Мощности ЭПС

- ? от 8 до 160 кВт камерные печи;
- ? от 25 до 160 кВт шахтные печи;
- ? от 20 до 1000 кВт камерные печи для сушки электротехнических изделий;
- ? от 10 до 150 кВт барабанные печи;
- ? от 90 до 270 кВт толкательные печи;
- ? от 750 до 1100 кВт толкательные печи с камерами охлаждения;
- ? от 6 до 800 кВт конвейерные печи;
- ? до 1400 кВт конвейерные печи с камерами охлаждения.
- ? Мощность современных электрических печей сопротивления может достигать нескольких мегаватт.
- ? Печи мощностью более 20 кВт ЭПС выполняются трехфазными для равномерного распределения нагрузки по фазам и подключаются к сетям с номинальным напряжением 220, 380, 660 В непосредственно или через печные трансформаторы (или автотрансформаторы).
- ? Коэффициент мощности печей сопротивления близок к 1, распределение нагрузки по фазам в трехфазных печах равномерное.

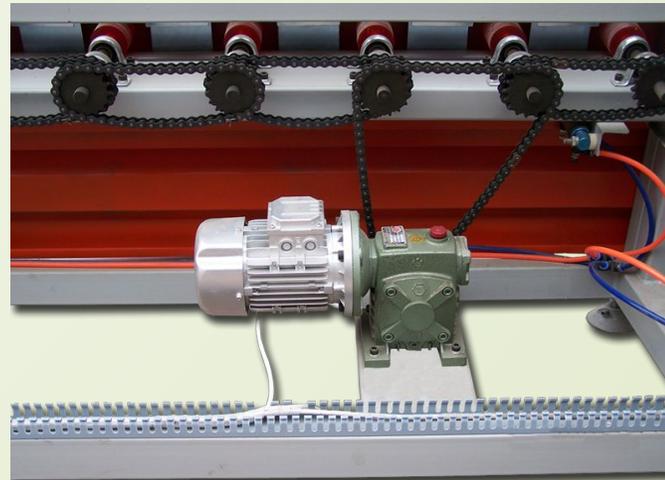
# Применяемое в ЭПС электрооборудование

3 группы:

- ? Силовое электрооборудование,
- ? Аппаратура управления,
- ? Контрольно-измерительная (КИП).

# Силовое электрооборудование

- ? Силовые понижающие трансформаторы и регулировочные авто трансформаторы,
- ? Силовые электроприводы вспомогательных механизмов,
- ? Силовая коммутационная и защитная аппаратура.



# Аппаратура управления

- ? К этой группе оборудования относятся комплектные станции управления с коммутационной аппаратурой: переключатели, кнопки, реле, конечные выключатели, электромагнитные пускатели.



# Контрольно-измерительные приборы (КИП)

- ? К этой группе относятся устройства контроля, измерения и сигнализации. Обычно вынесены на щит. Каждая печь сопротивления должна быть обязательно оборудована пирометрическими материалами. В промышленных печах обязательно автоматическое регулирование температуры. Оно осуществляется с помощью приборов, регистрирующих температуру печи.



# Регулирование работы ЭПС

- ? Большинство электрических печей сопротивления не нуждаются в силовых трансформаторах.
- ? Регулировочные трансформаторы и автотрансформаторы применяют, когда печь выполнена с нагревательными элементами, меняющими свое сопротивление в зависимости от температуры (вольфрамовые, графитовые, молибденовые), для питания соляных ванн и установок прямого нагрева.
- ? Все промышленные печи сопротивления работают в режиме автоматического регулирования температуры. **Регулирование рабочей температуры в электрической печи сопротивления производится изменением подводимой мощности.**
- ? Регулирование подводимой к печи мощности может быть **дискретным и непрерывным.**

## При **дискретном** регулировании ВОЗМОЖНЫ следующие способы:

- ? Периодическое подключение и отключение электрической печи нагрева сопротивлением к сети (двухпозиционное регулирование);
- ? Переключение нагревательных элементов печи со «звезды» на «треугольник», либо с последовательного соединения на параллельное (трёхпозиционное регулирование).

Наибольшее распространение получило двухпозиционное регулирование, так как способ прост и позволяет автоматизировать процесс.

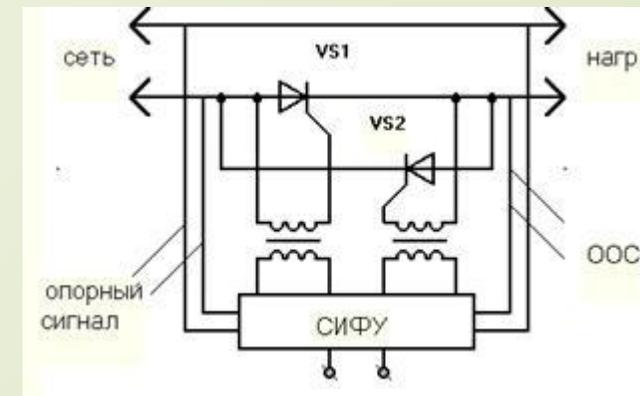
По этому способу печь либо включают в сеть ее номинальную мощность, либо полностью от сети. Требуемое значение средней в печь обеспечивают, изменяя соотношения времени включенного и отключенного состояния.



# При **непрерывном** регулировании:

Происходит плавное регулирование напряжения на нагревателях. Такое регулирование может быть осуществлено с помощью любой разновидности силовых усилителей. На практике наиболее распространены тиристорные регуляторы напряжения. Тиристорные источники питания содержат встречно-параллельно соединенные тиристоры, снабженные СИФУ.

Тиристорные источники питания имеют высокий КПД (до 98%).



# Зависимость ЭПС от качества электроэнергии

Подключение мощных однофазных печей сопротивления в сеть приводит к несимметрии.

Такие ЭП, как **лампы накаливания, печи сопротивления, дуговые электрические печи** на изменение частоты практически не реагируют.

Как правило, падение напряжения приводит к снижению производительности печей. Так, при отпаливании заготовок в печах сопротивления в случае снижения напряжения технологический процесс проводится дольше (при снижении напряжения на 10% процесс отпаливания проводить невозможно). Удлинение процесса приводит к увеличению продолжительности следующих технологических циклов, увеличению затрат электроэнергии и, как следствие, к увеличению себестоимости продукции. Повышение напряжения приводит к перерасходу электроэнергии.

# Зависимость ЭПС от качества элеткроэнергии

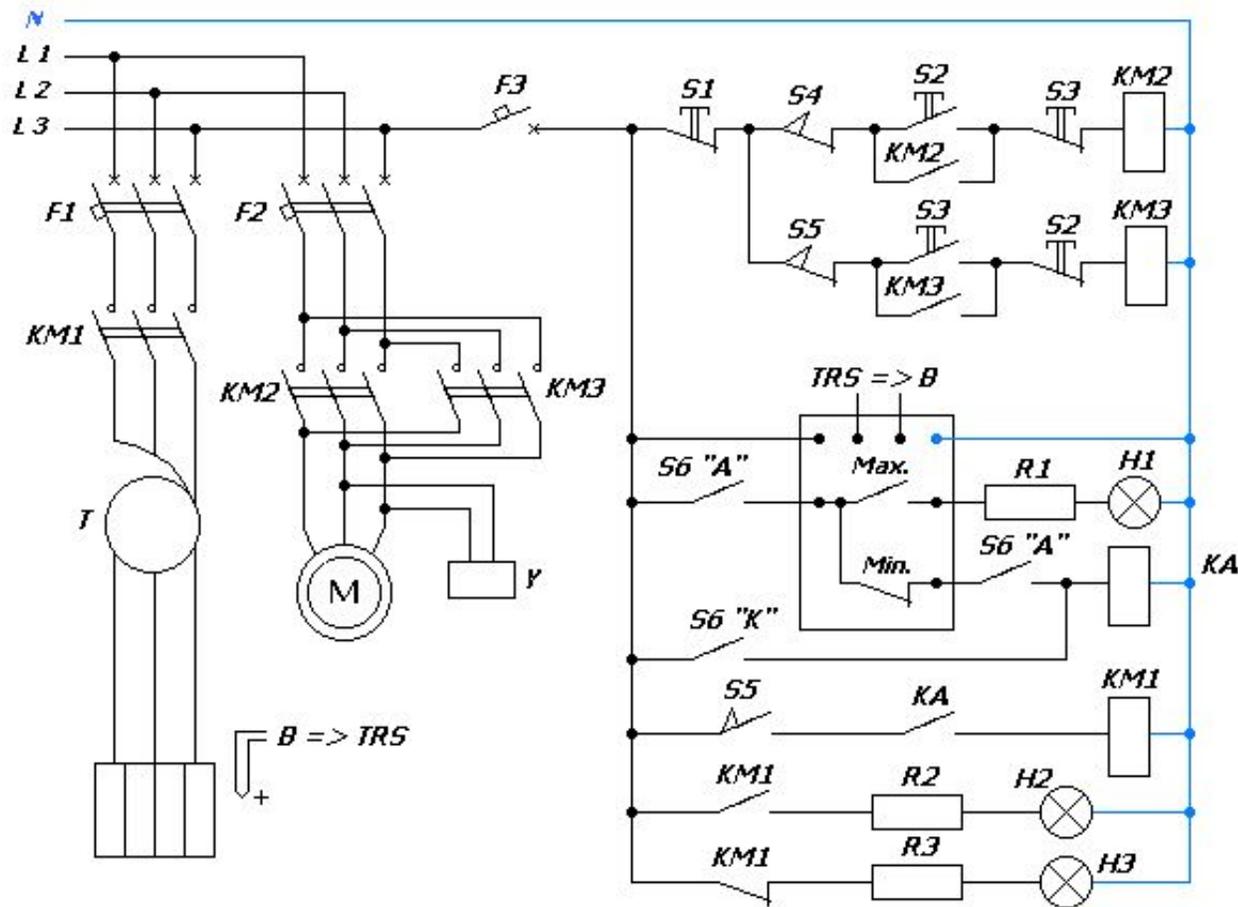
Производительность электротермических установок  $P_y$  во многих случаях имеет квадратичную зависимость от уровня напряжения:

$$P_y = kU^2$$

где  $k$  – коэффициент, который зависит от параметров электрооборудования, выпускаемой продукции и некоторых особенностей технологии.

Наиболее чувствительны к отклонениям напряжения асинхронные двигатели, момент на валу которых пропорционален квадрату подведенного напряжения:  $M = M_H (U/U_H)^2$ , поэтому при больших отклонениях напряжения может наступить так называемое «опрокидывание» двигателя, т. е. торможение его до полной остановки.

# Упрощенная электрическая схема ЭПС



Юопис 1-11  
Рисунок 1-11

- F1 – автоматический выключатель нагревательных элементов печи
- KM1 – контактор нагревательных элементов печи
- T – печной автотрансформатор
- B – датчик температуры
- F2 – автоматический выключатель электропривода печной двери
- KM2 – контактор электропривода печной двери (открытие)
- KM3 – контактор электропривода печной двери (закрывание)
- Y – электромагнитный тормоз
- F3 – автоматический выключатель цепей управления печи
- S1 – кнопка электропривода печной двери (стоп)
- S2 – кнопка электропривода печной двери (открытие)
- S3 – кнопка электропривода печной двери (закрывание)
- S4 – конечный выключатель печной двери  
(срабатывает при полном открытии двери)
- S5 – конечный выключатель печной двери  
(срабатывает при полном закрытии двери)
- M – двигатель привода печной двери
- TRS – устройство регулирования температуры
- S6 – переключатель режимов работы (автоматический-выключено-ручной)
- KA – промежуточное реле контактора нагревательных элементов
- H1 – сигнальная лампа (превышение допустимой температуры,  
или неконтролируемое повышение температуры)
- H2 – сигнальная лампа (нагревательные элементы включены)
- H3 – сигнальная лампа (нагревательные элементы выключены)
- R1, R2, R3 – добавочные резисторы сигнальных ламп

Спасибо за внимание!