

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И УСТАНОВКИ

**Электрические печи
сопротивления**

1. Преимущества электронагрева по сравнению с топливным нагревом

- **существенное снижение загрязнения окружающей среды;**
- **получение строго заданных значений температур;**
- **создание сосредоточенных интенсивных тепловых потоков;**
- **достижение заданных полей температур в нагреваемом пространстве;**
- **строгий контроль и точное регулирование длительности выделения энергии;**
- **гибкость управления потоками энергии;**
- **возможность нагрева изделий и материалов в вакууме и газовых средах любого химического состава;**
- **выделение тепловой энергии непосредственно в нагреваемом веществе.**

2. Области применения электрических печей

- Металлургия
- Машиностроение
- Химическая промышленность
- Пищевая промышленность
- Лёгкая промышленность
- Строительная промышленность
- Сельское хозяйство
- Предприятия среднего и мелкого бизнеса
- Научно-исследовательские, заводские и учебные лаборатории
- Бытовые электронагревательные приборы

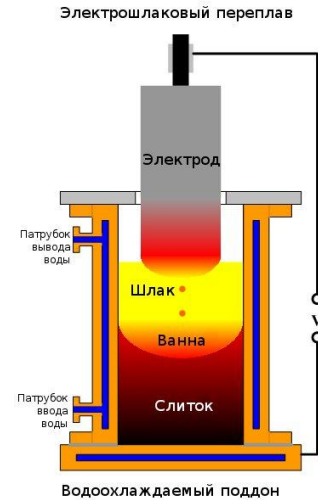
3. Классификация электротехнологических процессов

- **Электротермические:** электроэнергия превращается в тепловую с целью нагрева материалов и изделий для изменения их свойств, формы, агрегатного состояния.
- **Электросварочные:** электроэнергия превращается в тепловую с целью нагрева тел для получения их неразъемного соединения.
- **Электрохимические:** взаимное превращение электрической энергии в химическую.
 - **Гальванические:** химическая энергия → электрическая энергия.
 - **Электролиз:** электрическая энергия превращается в химическую с целью получения чистых веществ, покрытий, восстановления формы.
- **Электрофизические:** электроэнергия превращается в механическую (*ультразвуковая, магнитопульсная обработки*) и тепловую (*электроэрозионная обработка*).
- **Электроаэрозольные:** получение *электроаэрозолей* (аэродисперсная система, частицы которой обладают свободным электрическим зарядом) с целью их сбора (электрофилтры), лечения, обработки объектов (дезинфекция, увлажнение, дезодорация и т.п.).

4. Классификация электротермического оборудования по виду нагрева

4.1. Нагрев электросопротивлением

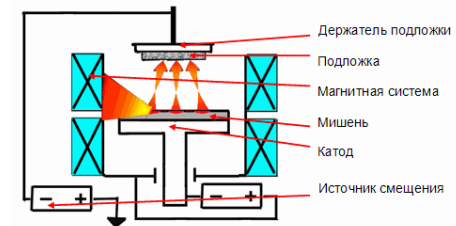
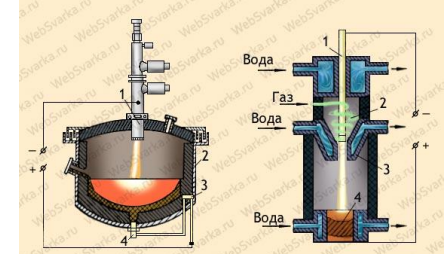
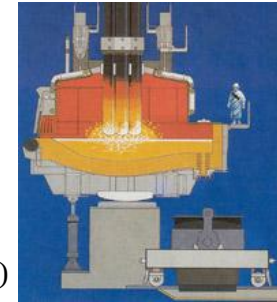
- **Выделение тепла:** при протекании электрического тока в твёрдых и жидких телах
- **Применение:** нагрев под ТОО и деформацию, плавка, сушка
- **Оборудование:**
 - электропечь сопротивления
 - **Технологическое исполнение:** плавильное, нагревательное
 - **Конструктивное исполнение:** прямое ($5 \cdot 10^6$ Вт/м²), косвенное действие ($10^4 \div 10^5$ Вт/м²)
 - электрошлаковый переплав
 - **Технологическое исполнение:** плавильное
 - **Конструктивное исполнение:** косвенное действие ($10^6 \div 10^7$ Вт/м³)
 - электролизные установки
 - **Технологическое исполнение:** плавильное
 - **Конструктивное исполнение:** прямое действие ($\approx 10^4$ Вт/м²)



4.2. Нагрев электрическим разрядом

Выделение тепла:

- в дуговом разряде в парах металла
 - **Применение:**
 - плавка чёрных и цветных металлов
 - » **Оборудование:** дуговые сталеплавильные печи
 - » **Технологическое исполнение:** плавильное
 - » **Конструкционное исполнение:** прямое действие ($10^7 \div 10^9$ Вт/м²)
 - вакуумная дуговая плавка
 - » **Оборудование:** вакуумно-дуговые печи
 - » **Технологическое исполнение:** плавильное
 - » **Конструкционное исполнение:** прямое действие ($10^7 \div 10^9$ Вт/м²)
 - плазменная плавка
 - » **Оборудование:** плазменно-дуговые печи ($10^7 \div 10^8$ Вт/м²)
 - » **Технологическое исполнение:** плавильное
 - » **Конструкционное исполнение:** прямое, косвенное действие
 - плазменное нанесение износостойких покрытий
 - » **Оборудование:** Ионно-плазменные установки "Булат", "Пуск", "Вихрь" и т.п.
 - » **Технологическое исполнение:** нагревательное
 - » **Конструкционное исполнение:** косвенное действие (10^6 Вт/м²)- в дуговом разряде в газовой атмосфере (атмосферное давление)
 - **Применение:** плазменное напыление; получение ацетилена
 - **Оборудование:** плазменно-дуговые установки
 - **Технологическое исполнение:** нагревательное
 - **Конструкционное исполнение:** косвенное действие (10^7 Вт/м²)
- в дуговом разряде в газовой атмосфере низкого давления
 - **Применение:** плавка и термообработка высокореакционных и тугоплавких металлов
 - **Оборудование:** электронно-плазменные установки
 - **Технологическое исполнение:** плавильное, нагревательное
 - **Конструкционное исполнение:** косвенное действие ($10^7 \div 10^8$ Вт/м²)



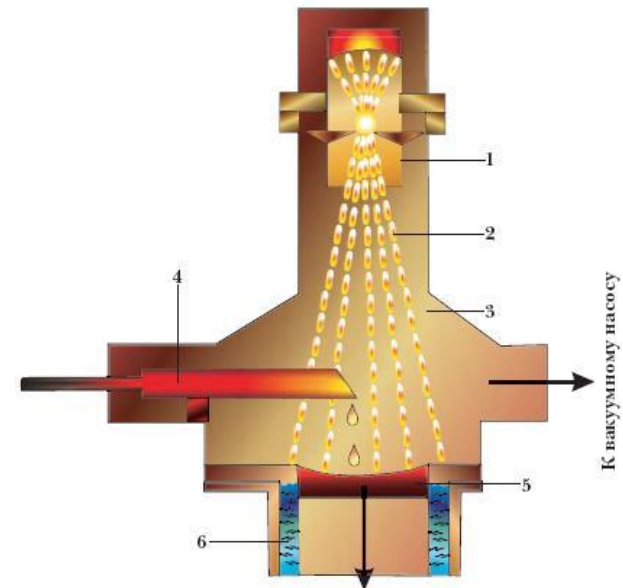
4.3. Нагрев электрической дугой и электросопротивлением

- **Выделение тепла:** при протекании электротока в смеси паров металла и газов, в жидкости и твердых телах
- **Применение:** получение ферросплавов, карбида кальция, фосфора, абразивов
- **Оборудование:** рудовосстановительные печи
- **Технологическое исполнение:** плавильное
- **Конструкционное исполнение:** прямое действие ($10^7 \div 10^9$ Вт/м²)



4.4. Нагрев электронным пучком

- **Выделение тепла:** в результате превращения кинетической энергии электрона в энергию теплового движения атомов мишени
- **Применение:** плавка в вакууме высокореакционных металлов (10^8 Вт/м²), напыление, наплавка, резка, сварка (10^{10} Вт/м²), ТО ($10^9 \div 10^{13}$ Вт/м²), БЗП
- **Оборудование:** электроннолучевые установки
- **Технологическое исполнение:** плавильное, нагревательное
- **Конструктивное исполнение:** прямое действие



4.5. Нагрев лазерным лучом

- ***Выделение тепла:*** в результате поглощения фотонов атомами поверхностного слоя мишени
- ***Применение:*** наплавка, резка, ТО
- ***Оборудование:*** лазерные установки
- ***Технологическое исполнение:*** плавильное, нагревательное
- ***Конструкционное исполнение:*** прямое действие ($10^{11} \div 10^{12}$ Вт/м²)



4.6. Нагрев в переменном электромагнитном поле

- **Выделение тепла:**

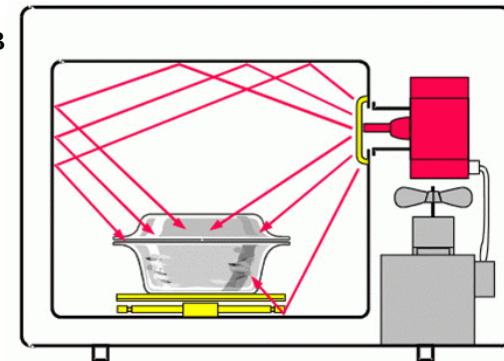
- при протекании вихревых токов

- **Применение:** плавка цветных и черных металлов, поверхностная закалка, нагрев под обработку давлением, БЗП, плавка в холодном тигле
 - **Оборудование:**
 - установки индукционного нагрева (УИН) ($10^7 \div 10^8$ Вт/м²)
 - » **Технологическое исполнение:** плавильное, нагревательное
 - » **Конструктивное исполнение:** прямое, косвенное действие
 - импульсные УИН
 - » **Технологическое исполнение:** нагревательное
 - » **Конструктивное исполнение:** прямое действие ($10^8 \div 10^{10}$ Вт/м²)



- при протекании поляризационного электротока (ток смещения)

- **Применение:** нагрев пластмасс и диэлектриков; сушка материалов (древесина); приготовление пищи
 - **Оборудование:** установки диэлектрического нагрева
 - **Технологическое исполнение:** нагревательное
 - **Конструктивное исполнение:** прямое действие ($10^6 \div 10^8$ Вт/м²)



5. Классификация электропечей сопротивления

- Электропечи сопротивления (ЭПС) условно подразделяются на три типа:
 - **электропечи** – оборудование имеющее нагревательную камеру;
 - **электротермические устройства** без нагревательной камеры, в которых для передачи тепла нагреваемому телу используется дополнительный теплоноситель;
 - **электротермические агрегаты** – совокупность конструктивно связанных ЭПС и устройств технологического назначения (транспортирующее, охлаждающее, моющее и д.р.).

5.1. По принципу выделения и передачи тепла

- **Электроды сопротивления (ЭПС):**
 - **прямого** действия (тепло выделяется в нагреваемом теле)
 - **косвенного** действия, когда тепло выделяется в нагревателях и передаётся к нагреваемому телу:
 - только излучением (вакуумные печи);
 - преимущественно избирательным излучением (ИК-нагрев);
 - излучением и конвекцией (высоко- и среднетемпературные печи);
 - конвекцией и излучением (средне- и низкотемпературные печи);
 - конвекцией и теплопроводностью (электрованны).

5.2. По назначению

- Печи косвенного нагрева
 - термообработка металлов;
 - все виды сушки (от грибов и леса до лаковых покрытий);
 - нагрев под горячую обработку давлением (ковка, штамповка и др.);
 - нагрев для получения расплава в установках роста монокристаллов;
 - плавильные печи для легкоплавких металлов (Al, Mg);
 - бытовые нагревательные приборы;
 - термохимическая обработка – диффузионные печи.
- Печи прямого нагрева
 - нагрев под термообработку;
 - нагрев под обработку давлением;
 - заклепочные аппараты;
 - стекловаренные печи;
 - электродные котлы для подогрева воды;
 - печи ЭШП (спецнагрев), печи для производства электрографита.

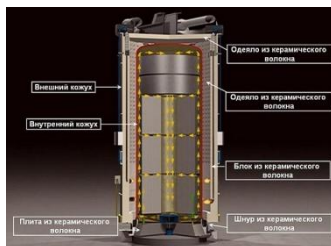
5.3. По температуре в рабочем пространстве печи

- **Низкотемпературные** – до 600 °С – газонаполненные (воздух или спецатмосфера), металлические нагреватели.
- **Среднетемпературные** – св. 600 °С до 1250 °С – газонаполненные (воздух или спецатмосфера), металлические нагреватели.
- **Высокотемпературные:**
 - св. 1250 °С до 1400 °С – карборундовые (SiC) нагреватели и газовая среда;
 - до 1600 °С – нагреватель из MoSi_2 или металлические (W, Mo) + вакуум;
 - свыше 1600 °С – графитовые нагреватели + вакуум.

5.4. По роду работы и конструкции исполнения

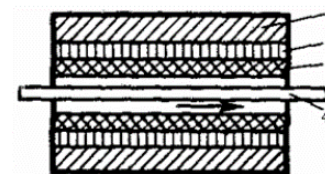
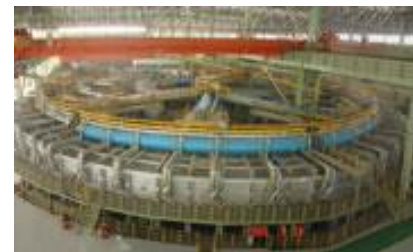
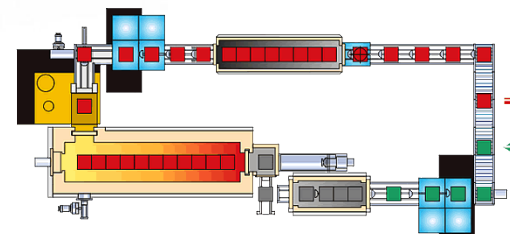
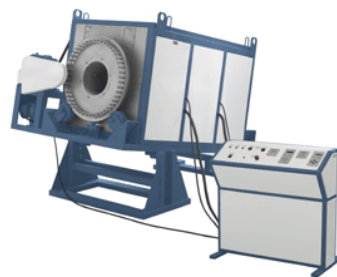
- Печи периодического действия (садочные):

- камерные,
- камерные с выдвижным подом,
- шахтные,
- колпаковые,
- элеваторные.

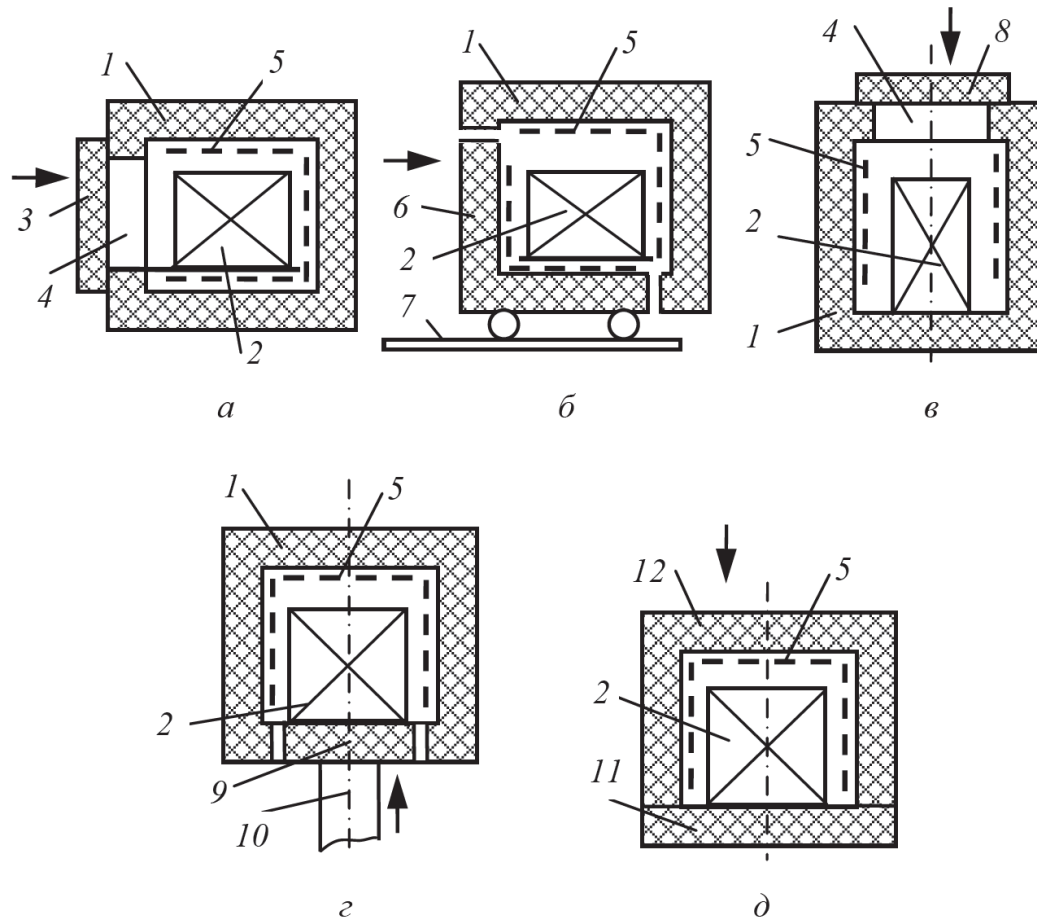


- Печи непрерывного действия (методические):

- конвейерные,
- рольганговые,
- толкательные,
- барабанные,
- ручьевые,
- туннельные,
- карусельные,
- с шагающим подом,
- с пульсирующим подом
- протяжные.

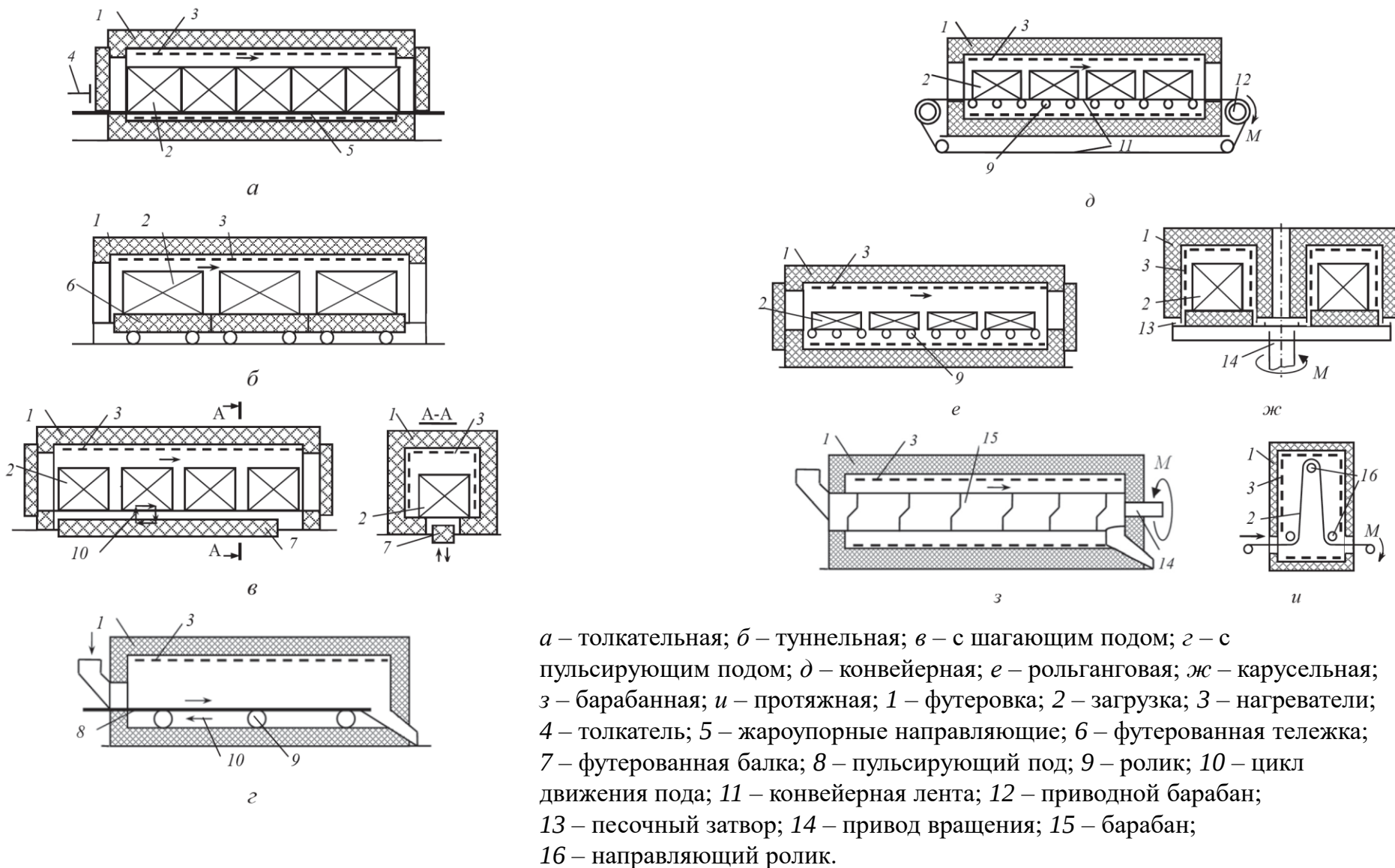


5.4.1. Печи периодического действия



- *а* – камерная с загрузкой через окно;
б – камерная с выдвижным подом;
в – шахтная; *г* – элеваторная;
д – колпаковая;
- 1 – каркас печи с футеровкой;
 2 – нагреваемые тела (загрузка);
 3 – дверца;
 4 – загрузочный проем (окно);
 5 – нагреватели;
 6 – выдвижной под;
 7 – рельс;
 8 – крышка;
 9 – опускающийся под (стенд);
 10 – механизм опускания стенда;
 11 – футерованный стенд;
 12 – съемный колпак.
- Стрелкой показано направление движения загрузки при подаче ее в рабочее пространство печи

5.4.2. Печи непрерывного действия



5.5. Обозначение типовых ЭПС

- **первая буква:** С – косвенный нагрев, К – прямой нагрев;
- **вторая буква определяет конструкцию электропечи:** А – карусельная, Б – барабанная, В – ванна, Г – колпаковая, Д – с выдвижным подом, Е – с подвесным конвейером, Ж – с вертикальным конвейером, З – для выращивания монокристаллов, И – с пульсирующим подом, К – с горизонтальным конвейером, Л – туннельная, Н – камерная, П – протяжная, Р – рольганговая, Т – толкательная, У – трубчатая, Ф – калорифер, Ш – шахтная, Э – элеваторная, Ю – с шагающим подом, Я – ручьевая;
- **третья буква обозначает характер среды:** А – азот (диссоциированный аммиак), В – вакуум, Г – свинец (олово, цинк), З – защитная (контролируемая, эндогаз или экогаз), К – компрессия (повышенное давление в печи), М – масло, Н – восстановительная (обычно водород), О – окислительная (обычная атмосфера), Р – агрессивная среда, С – соль, селитра, Ц – цементационный газ, Щ – щелочи;
- **Четвертая – особенность печи:** А – печь входит в агрегат, если печь обозначена четырьмя буквами, то буква А ставится на пятом месте, В – вертикальное перемещение деталей, К – под кольцевой – в печах с вращающимся подом, Л – лабораторная, М – муфельная, механизированная, Н – непрерывного действия – в печах барабанных, прецизионная, Т – под тарельчатый – в печах с вращающимся подом, Х – с камерой охлаждения, У – для сыпучих материалов, Э – для эмалирования; для вакуумных печей указывают исполнение теплоизоляции: Г – графитовая, Ф – керамическая, Э – экранная.
- Цифры в числителе после буквенного обозначения дают размеры рабочего пространства печи (ширина, длина, высота или диаметр, высота/длина) в дециметрах, а в знаменателе – максимальную температуру печи в 100 °С.