

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Енергетичні установки»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Електромеханіка

За темою № 2 - Електротермічні опалювальні установки опору

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.01.2023 № 1

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 19.12.2022 № 5

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 27.01.2023 № 1

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 10.12.2022 № 8.

Розробники:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач, Шокарьов Д.А..

Рецензенти:

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Вступ.
2. Основні поняття і визначення.
3. Вимоги до енергетичних установок
4. Питання для самоконтролю.

Література:

Основна література:

1. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського. – Вінниця, 2017. -270 с.
2. Міліх В. І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для здобувач вищої освіти ів електромеханічних спеціальностей / В.І. Міліх, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с.

Допоміжна література:

1. Шестеренко, В. Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2015. — 424 с.
2. Електричні системи та мережі. Методичні вказівки до виконання курсового проектування районної електричної мережі для здобувач вищої освіти ів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». /Укл.: А.П. Свірідов, Т.В. Величко – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 80 с.
3. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів: підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Офіційний сайт Міністерство енергетики України <http://mpe.kmu.gov.ua/>
2. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

1 ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНІ ОПАЛЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ ОПОРУ

Загальні відомості

Нагрівання опором відбувається за рахунок виділення тепла в провідному матеріалі при протіканні через нього електричного струму. Цей вид нагріву заснований на законі Джоуля-Ленца. Теплова енергія Q , що виділяється в провіднику в ккал, пропорційна квадрату сили струму, опору провідника і часу протікання струму.

$$Q = 0,00024I^2 R t \text{ (ккал)},$$

де Q - кількість виділяється тепла, ккал;

I - струм, А;

R – опір, Ом;

t - час, с.

Аактивна потужність, що виділяється при потоці струму

$$P = U^2 R = U^2 F / (\rho l),$$

де P - потужність, що виділяється в провіднику, Вт;

U - напруга, В;

F - площа поперечного перерізу, m^2 ;

ρ - питомий опір провідника, Ом·м;

l - довжина провідника, м.

Теплова енергія, що виділяється в провіднику, може бути використана безпосередньо для нагріву самого провідника, який в даному випадку являє собою нагріте тіло (принцип прямого нагріву). При непрямому нагріванні енергія нагріву передається спеціальними провідниками (нагрівачами), по яких електричний струм переходить на інші продукти, що підлягають нагріванню шляхом конвенції і викиду теплової енергії. В обох випадках об'єкт може перебувати в твердому, рідкому або газоподібному стані протягом року.

2. Електричні печі опору

Електричні печі опору (ЕРО) застосовуються в машинобудуванні, металургії, легкій і хімічній промисловості, будівництві, комунальному і сільськогосподарському господарстві та ін.

За призначенням ЕП поділяються на:

- нагрівання, які застосовуються для обробки матеріалів (нагрівальна, термічна, хіміко-термічна і вакуумна обробка, а також випал, сушка, спікання різних металевих і керамічних матеріалів);

- плавка, призначена для плавлення металів.

Переваги печей:

- можливість отримання в камері печі будь-якої температури до $3000^\circ C$;
- досить рівномірний нагрів продукту при відповідному розташуванні нагрівачів на стінках топкової камери або шляхом застосування примусової циркуляції атмосфери печі;
- простота автоматичного регулювання потужності, а, отже, і температурного режиму печі;

- зручність механізації та автоматизації печей;
- Компактність.

3 Нагрівальні печі

Класифікація опалювальних печей.

1. За принципом дії: непряма і пряма дія. У *непрямих* ЕРС електрична енергія перетворюється в теплову енергію в спеціальних нагрівачах, а потім передається в робочий простір за допомогою теплопровідності, конвекції і випромінювання. У ЕРС прямої дії нагріте тіло включається безпосередньо в електричний ланцюг. Нагрівальні елементи в печах непрямої дії і нагріті тіла, що входять в ланцюг СЕП прямої дії, можуть бути провідниками першого і другого роду.

2. За рівнем досягнутих температур печі поділяються на: низькотемпературні (до 650°C); середньотемпературні (до 1250°C); високотемпературні (вище 1250°C).

3. За режимом роботи - періодичної і безперервної дії.

4. За конструктивною конструкцією серійні печі можуть бути камерними, шахтними, ковпакowymi, елеваторними. Печі безперервної дії – конвеєрні печі; ролик, карусель, з прогулянковим вогнищем, барабан, довгий.

Електричні печі опору з періодичними нагрівальними елементами.

Печі з нагрівальними елементами (рис.2.1) являють собою прокладену камеру, в яку поміщаються нагрівачі і продукт переробки. Через нагрівач пропускається електричний струм, підвищується температура нагрівача, тепло від нагрівача передається нагрітому продукту.

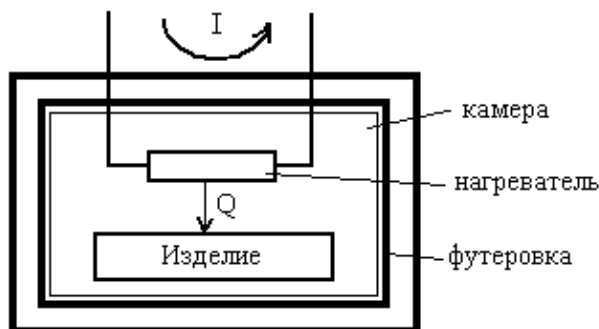


Рис. 2.1. Пристрій опору з нагрівальними і періодичними елементами

Підкладку. У низькотемпературних печах футерування містить тільки теплоізоляційний шар, а жорсткість футерування забезпечується двома з'єднаними між собою внутрішніми і зовнішніми каркасами.

У середньотемпературних печах в футеровці з'являється вогнетривкий шар з легких волокнистих вогнетривів.

У високотемпературних печах вогнетривкий шар виготовляється з шамоту. Між вогнетривким шаром і теплоізоляційним шаром вводиться додатковий легкий шар для зниження температури теплоізоляції до прийнятної.

Нагрівальні елементи (НД). У низько- і середньотемпературних печах з температурою до 800°C НВ виготовляють з фехрально і константану, при

температурі до 100 °С - з ніхрому. Ніхром - це сплав нікелю (75-78%) і хрому (близько 25%); фехралі - сплав заліза (73%), хром (13%), алюміній (4%); хромонікелеві жароміцні сталі - сплав заліза (до 61%), хрому (22-27%), нікелю (17-20%).

У високотемпературних печах використовуються неметалеві нагрівальні елементи: карборунд; кам'яне вугілля; графіт або метал. отримують шляхом спікання кремнезему і вугілля. виготовляються з тугоплавких металів (молібдена, тантал а, вольфрам та інші). Щоб уникнути розтріскування неметалеві нагрівальні елементи слід нагрівати поступово на малій потужності, що вимагає застосування засобів регулювання вхідної напруги.

За формою середньо температурні НП виконані у вигляді зигзагів з дроту і стрічки або спіралей, а високотемпературні - у вигляді прутів круглого або квадратного перетину і труб.

Для низькотемпературного опалення широко застосовуються трубчасті електронагрівачі - трубчасті електронагрівачі, що представляють собою металеву трубку, заповнену теплопровідним електроізоляційним матеріалом з електричною спіраллю нагріву. Нагрівачі електрично безпечні, можуть працювати в будь-якому середовищі, стійкі до вібрацій. Потужність нагрівачів до 15 кВт, напруга до 380 В, ресурс до 40 тисяч год, робоча температура до 730 °С.

Основні елементи і конструкція партійних печей. На рисунку 2.2 показані витяжка е, елеватор е, камерна і шахтна печі, які відрізняються розташуванням і матеріалом НВ, способами установки оброблюваних продуктів в камеру печі, футеровочним пристроєм і т.д., а також механізмами передачі теплової енергії від НЕ до виробу.

У низькотемпературних печах основним механізмом теплообміну є конвенційний (тепло передається потоком циркулюючого повітря). Для інтенсифікації процесу теплообміну печі оснащуються вентиляторами.

У середньо- і високотемпературних печах основне тепло від нагрівача до продукту передається випромінюванням у вигляді електромагнітних хвиль. У таких печах необхідно мати оптичний зв'язок між НЕ і виробом.

Ковпакова піч - це пакетна піч з відкритим знизу підйомним нагрівальним ковпаком і нерухомою підставкою (рис. 2.1, а). Нагріті деталі (клітка) 5 розміщуються на підставці за допомогою підйомно-транспортних пристроїв. Поверх них спочатку встановлюється термостійкий ковпак - муфель 3, а потім основний ковпак 2 камери печі, виконаний з металевого каркаса з вогнетривкою футеровкою. Нагрівальні елементи 4 розташовуються на бічних стінках цоколя і в кладці підставки. Блок живлення НЕ здійснюється за допомогою гнучких кабелів і штепсельних роз'ємів. Після закінчення обігріву відключається електропостачання ковпачка і він переноситься на сусідню підставку, де вже встановлено наступне навантаження для опалення. Охолодження клітини відбувається на підставці під жароміцним глушником, що забезпечує необхідну швидкість охолодження.

У маточкових печах з кожним циклом втрачається тільки тепло, що зберігається в муфті і кладці підставки, що становить 10-15% тепла , що

зберігається в кладці цоколя. Потужність ковпакових печей досягає декількох сотень кіловат. Завдяки тому, що цоколь і муфель можуть бути герметичними, обігрів і охолодження клітини може здійснюватися в захисній атмосфері.

Елеваторна електропечка - це пакетна піч з нерухомою нагрівальною камерою, відкритою знизу 2 і з низхідним подом 6. Піч являє собою циліндричну або прямокутну камеру, встановлену на колонах на висоті 3-4 м над рівнем підлоги цеху.

Під піч піднімається і опускається гідравлічним або електромеханічним підйомником, який встановлюється під нагрівальною камерою. Нагріті вироби 5 завантажуються на візок, потім за допомогою лебідки проштовхуються під піч і піднімаються підйомником 7, проштовхуючись в камеру. Після закінчення технологічного процесу продукт опускається і виріб витягується. У низькотемпературних печах нагрівальні елементи 4 розташовуються на стінах, в високотемпературних - на стінках і в вогнищі.

Елеваторні печі застосовуються для відпалу, емалювання, цементації, випалу керамічних виробів, спікання і металізації деталей. Печі оснащуються багатоступеневими трансформаторами, розрахованими на резервуари в десятки тонн, потужністю до 600 кВт і температурою до 1500 К.

Камерна електропечка - це пакетна піч з камерою нагріву, навантаження і вивантаження обойми якої здійснюється в горизонтальному напрямку. Камерна піч складається з прямокутної камери 2 з вогнетривкою футеровкою і теплоізоляцією, покритої склепінням 8 і поміщеної в металевий кожух. Піч завантажується і вивантажується через отвір, закрите дверима в передній частині.

У нижній частині камерної печі зазвичай знаходиться термостійка пластина, на якій розташовані нагрівачі 4. У печах до 1000 К теплообмін забезпечується випромінюванням або примусовою конвекцією, що забезпечується замкнутою циркуляцією топкової атмосфери. Печі з номінальною температурою до 1800 К працюють як з повітрям, так і з керованою атмосферою. У великих печах завантаження і розвантаження механізовані.

Шахтна піч виготовляється у вигляді круглої, квадратної або прямокутної шахти, зверху закритої кришкою. Нагрівальні елементи в ній зазвичай встановлюються уздовж бічних стінок.

Електричні печі опору з безперервними нагрівальними елементами (методичні печі). Конструкції печей безперервної дії відрізняються в основному механізмами переміщення нагрітих продуктів в робочому просторі печі. За способом переміщення продукту всередині печі розрізняють конвеєрні, штовхаючі, протяжні, тунельні і карусельні печі.

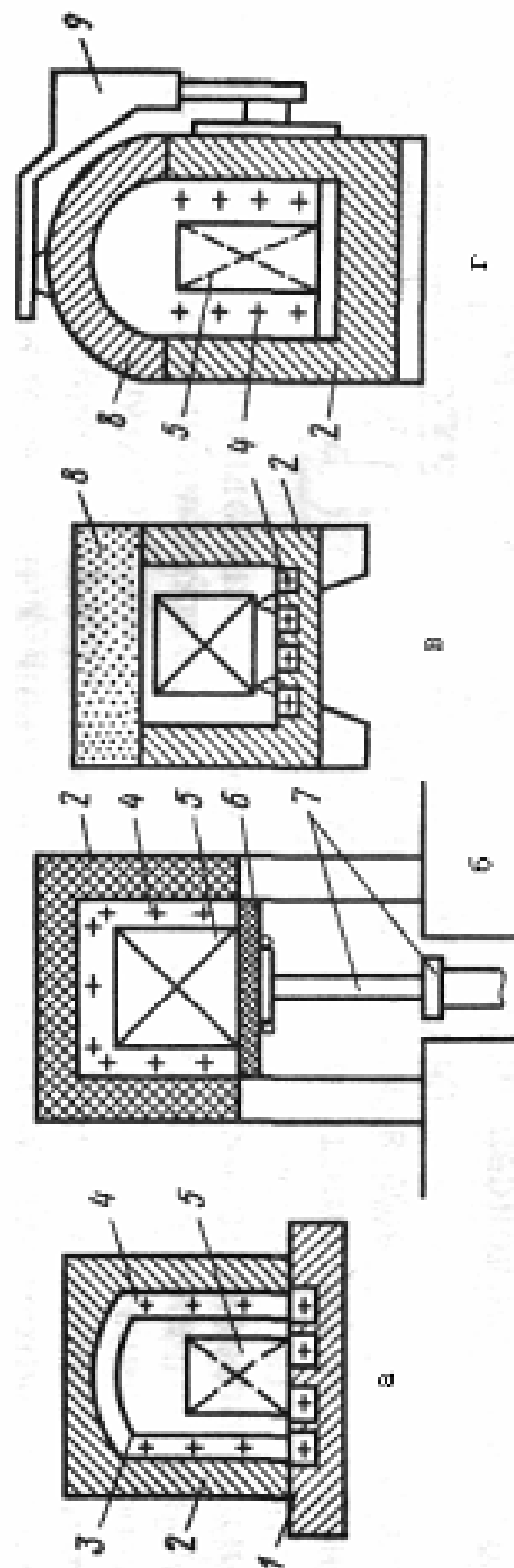
Конвеєрна піч - з переміщенням клітки на горизонтальному конвеєрі (рис. 2.3). Під топкою розташовується конвеєрна стрічка - полотно, натягнуте між двома валами, які приводяться в рух спеціальними двигунами. Нагріті продукти укладаються на конвеєр і переміщаються на ньому через робочий простір печі. Конвеєрна стрічка може бути виготовлена з обплетених з ніхромової сітки штампованих пластин і стрижнів, що з'єднують їх, а також

для важких нагрітих продуктів - з штампованих або штампованих або литі ланки ланцюга.

Транспортер поміщається повністю в камеру печі і не остигає. Однак вали конвеєра знаходяться в дуже суворих умовах і вимагають водяного охолодження. Тому часто кінці конвеєра виносять за межі печі. В цьому випадку значно полегшуються умови експлуатації валів, але тепловтрати збільшуються за рахунок охолодження конвеєра на кінці розвантаження і навантаження. Нагрівачі в конвеєрних печах найчастіше розміщують на склепінні або в нижній частині під верхньою частиною конвеєрної стрічки, рідше на бічних стінках.

4 Питання для самоконтролю

1. Класифікувати печі опору за способом перетворення електричної енергії в теплову і визначити основний вид теплопередачі в печі залежно від температури в робочій камері.
2. Привести тепловий розрахунок печей опору періодичної дії.



1 – станд; 2 – камера печи; 3 – жаропрочный муфеля; 4 – нагревательные элементы; 5 – нагреваемое изделие (садка); 6 – опуткающий под; 7 – подвешное устройство; 8 – свод; 9 – механизм подъема свода

Рис 2.2. Печи сопротивления периодического действия
а - колпачковая, б - электродная, в - камерная, г - шахтная

Конвеєрні нагрівальні печі в основному використовуються для нагріву відносно невеликих деталей до температури близько 1200 К.

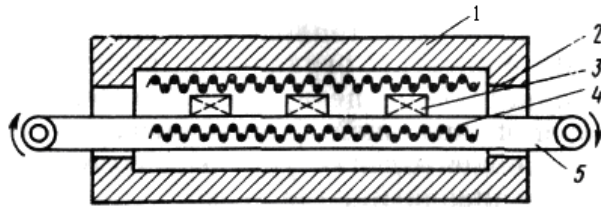


Рис. 2.3. Конвеєрна піч: 1 – корпус теплоізоляційний; 2 – завантажувальне вікно; 3 – нагрітий продукт; 4 – нагрівальні елементи; 5 – конвеєр

Штовхальні печі з переміщенням обойми шляхом штовхання по робочому простору розраховані на високі температури (вище 1400 К) (рис. 2.4). Вони використовуються для обігріву як дрібних, так і великих деталей. На днище таких печей встановлюються напрямні у вигляді труб, рейок або роликів з жароміцного матеріалу, а нагріті продукти переміщуються по ним в зварних або литих спеціальних піддонах.

Переміщення піддонів забезпечується електромеханічними або гідравлічними штовхаючими пристроями. Основною перевагою таких печей перед іншими типами є їх відносна простота, відсутність складних деталей з жароміцних матеріалів. Недоліки – наявність піддонів, використання яких призводить до збільшення тепловтрат і до підвищеного споживання електричної енергії, обмеженого терміну служби піддонів.

Штовхачі печі, призначені для обігріву великих заготовок правильної форми, виготовляються без піддонів. При цьому нагріті продукти поміщаються в піч впритул безпосередньо на напрямні.

Штовхальні водневі печі призначені для різних технологічних процесів, що вимагають нагрівання в водні або дисоційованому аміаку. Вони широко застосовуються у виробництві електричних ламп, у виробництві металокерамічних деталей і твердих сплавів, для випалу і спікання кераміки, для відпалу і пайки металевих деталей та ін.

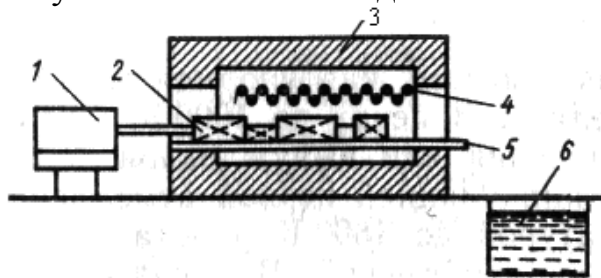


Рис. 2.4. Піч-штовхач: 1 – штовхач з приводним механізмом; 2 – продукти з підігрівом; 3 – теплоізоляційний корпус; 4 – нагрівальні елементи; 5 – хлібопекарська подина; 6 – загартовуюча ванна

Електропечі – це безперервна піч для нагріву дроту, прутків або стрічки шляхом безперервного волочіння через нагрівальну камеру. Вона являє собою муфту з нагрівачами, через які пропускається нагрітий продукт (рис. 2.5). Печі з робочою температурою до 1500 К оснащуються металевими глушниками, а при більш високій температурі – керамічними. Печі з температурою 1600 К оснащені багатоканальним муфтою алунда, поверх якого намотується молібден. Нагрівач. У протяжних печах також використовується змішаний спосіб нагріву; прямі – за допомогою контактних приводних роликів і непрямі – за допомогою нагрівача. Непрямий нагрів забезпечує термічну обробку торців штанги на початку і кінці процесу, коли прямий нагрів здійснювати неможливо.

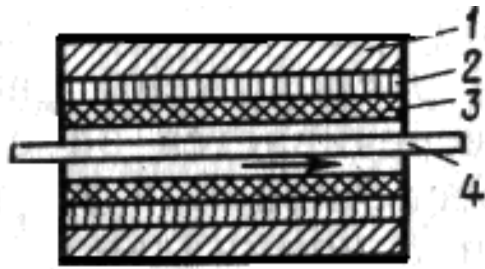


Рис. 2.5. Піч для протягання:
1 – теплоізоляційний корпус;
2 -- нагрівальні елементи;
3 – глушник;
4 – нагрітий продукт

Установки (печі) прямого нагріву.

Призначений для обігріву заготовок для кування, відпалу труб, дроту, пружинного дроту для намотування. Установки не мають обмежень по досяжним температурам, мають високу швидкість, пропорційну вхідної потужності, мають високий ККД. Принципова схема прямого нагріву наведена на рис. 2.6. Існують серійні печі прямого нагріву для спікання прутків і штабелів з порошків рідкісних і тугоплавких металів при температурі до 3000 К в захисній атмосфері. До установок прямого нагріву відносяться такі основні вузли:

- понижуючий трансформатор, змонтований в корпусі установки з охолоджуваною водою обмоткою. Трансформатор має кілька ступенів своєї напруги в діапазоні 5-25 В для нагрівальних тіл з різним опором;
- шинопровод від низьковольтних клем обмотки трансформатора до затискачів з водяним охолодженням;
- затискачі, що забезпечують кріплення нагрітого продукту і необхідний тиск в контактах блоку живлення;
- контактний привід;
- прилади контролю і автоматичного регулювання процесу нагріву.

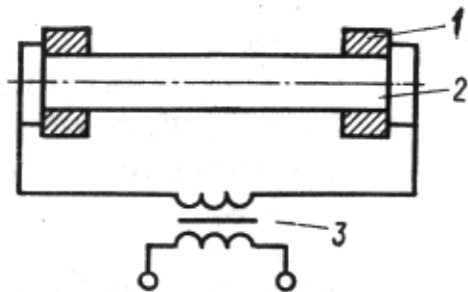
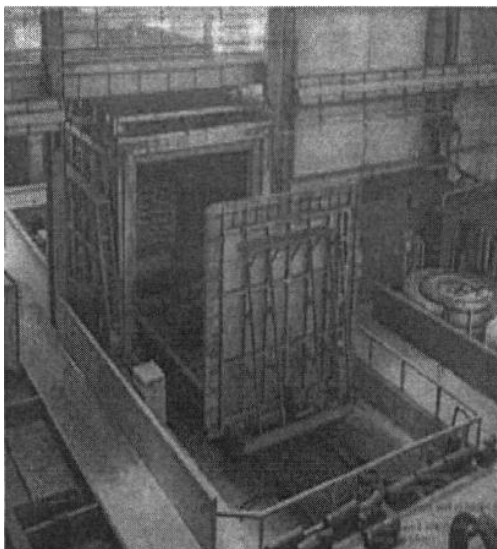


Рис. 2.6. Установка прямого нагріву:

- 1 – затискачі з водяним охолодженням;
- 2 – нагрітий продукт;
- 3 – піч-трансформатор



У безперервних установках для нагріву дроту, труб, прутків використовуються тверді роликові або рідкі контакти.

Печі прямого нагріву також використовуються для графітизації вугільної продукції, виробництва карборунту і т.д. Графітізуючі печі виготовляються однофазної прямокутної форми з розщепленими стінками. Досягнута температура становить 2600-3100 К

Рис. 2.7. Загальний вигляд печі в вакуумній або нейтральній опорі з висувним подом для загартовування деталей атмосфери.

Діапазон регулювання вторинної напруги – 100–250 В, споживаної потужності – 5–15 тис., ККД прямих нагрівальних установок залежить від опорі навантаження в силовому ланцюзі і становить 70–80%, кВт·А коефіцієнт потужності – 0,8.

2.2.2. Вакуумні печі та сушильні шафи

Печі вакуумного опорі призначені для термообробки, пайки, спікання різних матеріалів і сплавів, сушіння. У печах можна здійснювати технологічні процеси при температурах до 2000-2500 °С як у вакуумі до 10-5 мм рт. ст., так і в середовищі нейтральних газів (аргону, азоту високої чистоти) при тисках до атмосферних. Випускаються камерні і шахтні вакуумні печі. Для сушіння матеріалів використовуються сушильні шафи з температурою 200-250 °С. Параметри найважливіших технологічних процесів вакуумних печей опорі наведені в табл. 2.1 технічні характеристики вакуумних печей та сушильних шаф АТ «ВНДІЕТО» наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 Вимоги до ресурсів за компонентами
Параметри процесу вакуумних печей опорі

Техноло- Генні процеси	Матеріал	Темпера- тур, °С	Середній і тиск, РА
Термічна обробка	Титан і його сплави, високолеговані сталі, пермулі, сплави на основі нікелю	900-1300	10-1-10-2

Підсумкова таблиця 2.1

Техноло- Генні процеси	Матеріал	Темпера- тур, °С	Середній і тиск, РА
	Молибден, ніобій, вольфрам і їх сплави	1800- 2200	10-2-10-5
	Лейкосапфір і кубічний цирконій	1200- 1800	10-1-10-2
Термічна обробка і спікання	Вогнетривкі матеріали	1600- 2200	10-1-10-2
Спікання	Високолеговані сталі, включаючи швидкорізальні	1100- 1300	10-1-10-2
	Титан, цирконій і сплави на їх основі	900-1200	10-2-10-3

	Уран і його сплави	1000-1300	10-2-10-3
	Магнітні матеріали систем	1000-1300	10-2-10-3
Спікання	Рідкоземельні метали і їх сплави (скандій, ітрій, неодим, самарій, орбій)	1000-1300	10-2-10-3
	Оксидна кераміка	1600-2300	10-1-10-2 А р-10-5
	Ніобій, тантал і їх сплави	1800-2200	10-2-10-5
	Молібден, вольфрам і їх сплави	1900-2500	10-1-10-2

Таблиця 2.2 Вимоги до ресурсів за компонентами
Параметри вакуумних камерних печей ВАТ «ВНДІСТО»

Параметри	Камери		Мій		Сушильні шафи
тип печі	ПОЧАТИ	ПОЧАТИ	ССВЕ	SSVG	СНВ
Матеріал опалювального агрегату	Тм	УКМ	Тм	УКМ	ТМ, УКМ
Потужність, кВт	12–34 pp.	6–40 pp.	3,1	3,1–7,75	2,5–4
Температура, °С	1100–2000 pp.	1300–2200 pp.	2500	2200–2500 pp.	200–250 pp.
Залишковий тиск, Па	3x10 ⁻³ -10 ⁻²	1–10 ⁻²	6x10 ⁻³	10-1-10-2	0,1 мм рт.ст. Мистецтво.
Маса печі, т	0,8–0,95	0,8–3	1	1–1,3	
Вага вантажу, кг	15–30 pp.	15–125 pp.	12	12–20 pp.	

2.2.3. Плавка електричних печей опору

Плавильні електропечі опору (ЕРС)призначені для виплавки на їх основі олова, свинцю, цинку і різних сплавів, а також інших металів, що мають температуру плавлення 600-800 К. Печі для плавки алюмінію і його сплавів дозволяють домогтися високого ступеня очищення металу. Печі мають просту конструкцію. За конструкцією розрізняють тигельні і камерні (або банні) печі.

Тигельні печі (рис. 2.8) металеве тигельне вмістилище (чавун з внутрішнім покриттям з оксидами), поміщене в циліндричну оболонку з вогнетривкого матеріалу 5 і покрите зовні металевим кожухом 6. Електричні нагрівачі 4 розміщуються між тиглем і вагонкою.

ЕРС оснащується механічним дозатором Дозування металу в проміжному ковші робота-маніпулятора або лиття прес-форми здійснюється за допомогою механічних, пневматичних або електромагнітних приладів. Механічний витіснювач 2 розміщується на каретці, що рухається вгору і вниз по направляючій колонці. Після плавлення металу і доведення його температури до необхідного рівня змішувач опускається в тигель і витісняє ту частину металу, яка надходить в ливарну машину через нагрітий жолоб. Тигельні ЕРС інших конструкцій мають механізм нахилу, що дозволяє нахилити піч і зливати розплавлений метал. Питомі енерговитрати при виплавці алюмінію становлять $700-750 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$, ККД печі $50-55\%$.

Камерні печі більше за обсягом, ніж тигельні печі і використовуються для переплавки алюмінію в злитки. Питома енерговитрата при роботі РС типу ВАН становить $600-650 \text{ кВтг} / \text{кг}$, а ККД - $60-65\%$. У всіх типах ЕРС можливі два способи нагріву - внутрішній і зовнішній. При внутрішньому нагріванні нагрівачі поміщаються в розплавлений метал і працюють при температурі, що не перевищує $800-850 \text{ К}$. У зовнішньому місці відкриті високотемпературні НВ дозволяють отримати температура в робочому просторі печі $1100-1200 \text{ К}$.

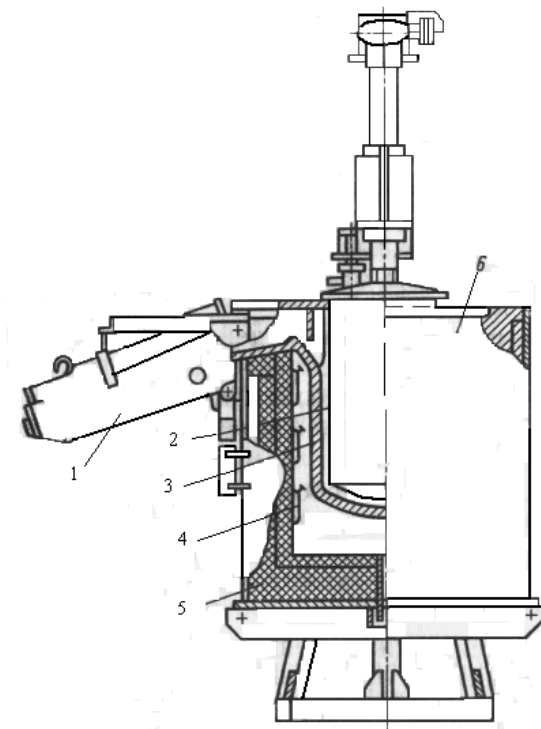


Рис. 2.8. Тигельна електрична піч опорного типу:
1 – жолоб; 2 – механічний витіснювач; 3 – тигель; 4 – обігрівач;
5 – футерування; 6 – будівництво

2.2.4. Електрообладнання та регулювання параметрів печі опорного типу

Потужність сучасних ЕРС коливається від фракцій кіловата до декількох мегават. Печі потужністю понад 20 кВт зазвичай робляться трифазними і підключаються до мереж напругою $220, 380, 660 \text{ В}$ безпосередньо або через пічні трансформатори. Коефіцієнт потужності печей опорного типу близький до одного,

розподіл навантаження по фазах в трифазних печах рівномірний. Електрообладнання, що використовується в ЕП, ділиться на:

- силові (трансформатори, знижувальні та регулювальні автотрансформатори, джерела живлення, що приводять в рух механізми електроприводів, силові комутаційні та захисні засоби);
- апаратура управління (комплектні станції управління);
- контрольно-вимірювальні прилади (контрольно-вимірювальні прилади),
- Пірометричні.

Більшість печей виготовляються від напруги живить мережі і підключаються до мережі без спеціальних трансформаторів.

Керуючі трансформатори і автотрансформатори використовуються для живлення сольових ванн і установок прямого нагріву, а також для печей опору з вольфрамовими, графітовими і молібденовими нагрівачами. Застосування понижуючих топкових трансформаторів дає можливість збільшувати робочі струми і використовувати провідники більшого перетину для виготовлення нагрівачів, що підвищує їх міцність і надійність.

Всі промислові печі опору працюють в режимі автоматичного регулювання температури, що дає можливість регулювати потужність печі з необхідним температурним режимом, що, в свою чергу, призводить до зниження питомих енерговитрат в порівнянні з ручним регулюванням.

Робоча температура в печах опору регулюється зміною потужності, що надходить в піч наступними способами:

- періодичне підключення і відключення печі до мережі електропостачання (двопозиційне регулювання);
- перемикання нагрівачів печі від зірки до трикутника, або від послідовного з'єднання до паралельного (трипозиційне управління).

При *двопозиційному контролі* температура в робочому просторі ЕРС контролюється термопарами або фотоелементами. Функціональна схема печі і графік зміни температури і потужності при цьому способі регулювання наведені на рис. 2.9.

Включення печі здійснюється регулятором температури RT після подачі команди на змійовик ВЧ вимикача. Температура в печі підвищується до значення $t_{ZD} +$, в цей момент термостат відключає піч. За рахунок поглинання тепла нагрітим корпусом і втрат в навколишній простір температура знижується до $\Delta t t_{ZD} -$, після чого rt знову дає команду на підключення печі до мережі. Глибина пульсацій температури залежить від чутливості терморегулятора, інерції печі і чутливості датчика температури. Δt

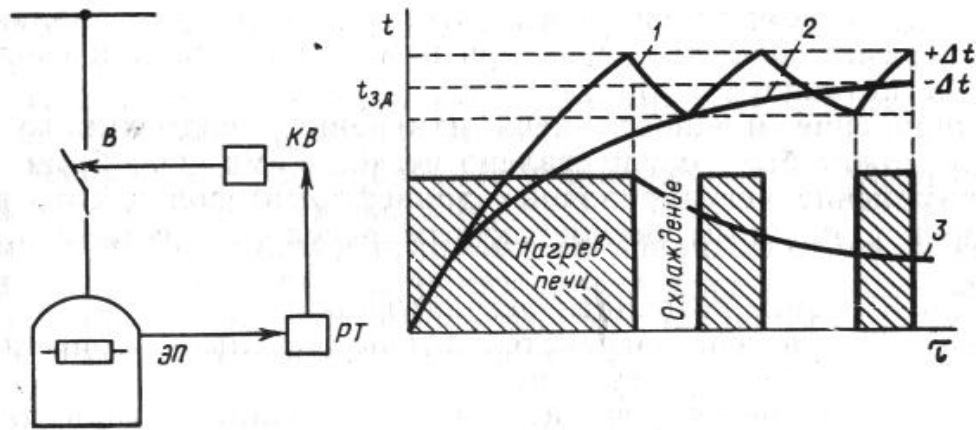
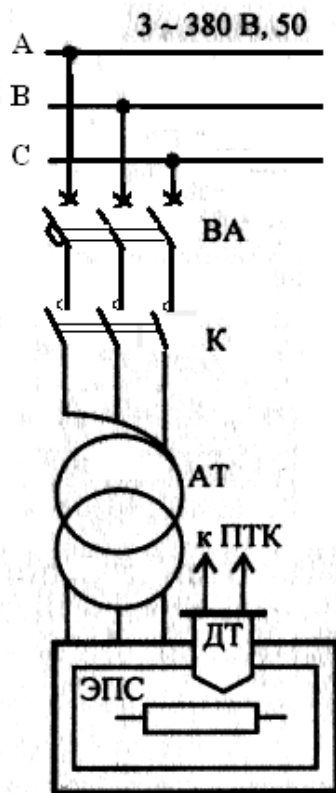


Рис. 2.9. Функціональна схема включення печі, вимірювання температури і потужності з двопозиційним регулюванням:
В – перемикач; ЕР – ЕПС; РТ – регулятор температури; HF – котушка відключення вимикача
1- температура печі; 2 – температура нагрітого тіла;
3 – середня потужність, споживана піччю



ДТ – датчик температури мережі;
ВР - оборотний двигун для підйому і опускання дверей;
ЕМТ – електромагнітне гальмо

Рис. 2.10. Схема з'єднання ЕПС з автотрансформатором печі

При *трипозиційному контролі* потужність, що подається в піч, змінюється при перемиканні нагрівачів із зірки в трикутник. Регулювання температури таким методом знижує потужність, споживану з мережі. З енергетичної точки зору метод управління досить ефективний, так як не робить шкідливого впливу на мережу електропостачання.