**Теплообмінні АПАРАТИ**

**1.3.1 Типи теплообмінних апаратів**

**Теплообмінний апарат (теплообмінник)**- пристрій, в якому здійснюється теплообмін між двома теплоносіями, що мають різні температури.

Найчастіше в теплообмінних апаратах (ТОА) здійснюється передача теплоти від одного теплоносія до іншого, тобто нагрівання одного теплоносія відбувається за рахунок охолодження іншого.

Теплообмінники із двома теплоносіями за принципом дії підрозділяються на три основні групи:

- рекуператори;

- регенератори;

- змішувальні теплообмінники.

1. Рекуперативні ТОА - апарати, у яких теплота від одного теплоносія до іншого передається через поділяючу їх стінку. До цього типу належить більшість теплообмінників різних конструкцій.

Стінка, що обмивається по обидва боки теплоносіями, називається робочою поверхнею теплообмінника. Вона виконується з матеріалу з гарною теплопровідністю ( міді, сталі, латуні, сплавів алюмінію й т.д.).

Найпоширенішими є трубчасті теплообмінники, у яких один теплоносій рухається в трубах, а інший в міжтрубному просторі. У таких ТОА гарячий і холодний теплоносіїв не контактують, тому можна використати найрізноманітніші їхні сполучення.

Рекуперативні теплообмінники підрозділяються залежно від напрямку руху теплоносіїв на:

- прямоточні - якщо теплоносії рухаються в однаковому напрямку (рис.1.26, а);

- противоточні - якщо теплоносії рухаються в протилежному напрямку (рис.1.26, б);

*а) б) в) г)*

- гарячий теплоносій; - холодний теплоносій.

Рисунок 1.26 - Схеми руху теплоносіїв

- з перехресним струмом - якщо теплоносії рухаються у взаємно перпендикулярних напрямках (рис.1.26, в). Можливий багаторазовий перехресний струм (рис.1.26, г).

На практиці зустрічаються більш складні схеми руху теплоносіїв, що включають різні комбінації основних.

До рекуперативних теплообмінників можна віднести також теплообмінники із проміжним теплоносієм.

Рисунок 1.27- Регенеративний підігрівач повітря періодичної дії з перемиканням потоків, що рухаються через насадку

Горячі гази

Нагріте повітря

Охолоджені

гази

Холодне повітря

2. Регенеративні ТОА - апарати, у яких поверхня нагрівання періодично обмивається то гарячим, то холодним теплоносієм (рис. 1.27). В регенеративних теплообмінниках гарячий і холодний теплоносії контактують з однією і тією ж поверхнею почергово. Теплота накопичується в акумулюючому пристрої (наприклад, у насадці) при контакті з гарячим теплоносієм і віддається при контакті з холодним, як, наприклад, в кауперах (повітронагрівачах) доменних печей.

Як поверхня нагрівання в таких теплообмінних апаратах використовується твердий, достатній масивний матеріал (цегли, різні засипання, листи металу). Режим роботи генераторів у відмінності від рекуператорів нестаціонарний, періодичний .

Регенератори й рекуператори за способом передачі теплоти ставляться до поверхневих теплообмінників.

3. Змішувальні ТОА - апарати, у яких передача теплоти здійснюється при безпосередньому змішуванні гарячого та холодного середовищ. Вони прості й компактні. Використовуються змішувальні теплообмінники для теплоносіїв, щи легко розділяються, їх ретельно перемішують, рідини розприскують або розбивають на дрібні струмені.

Теплообмінники застосовуються в технологічних процесах металургійної, нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної, атомної, холодильної, газової та інших галузях промисловості, в енергетиці та комунальному господарстві.

Від умов застосування залежить конструкція теплообмінника. Існують апарати, в яких одночасно з процесами теплообміну протікають і суміжні процеси, такі як фазові перетворення, наприклад, конденсація, випар, змішання. Такі апарати мають свої найменування: конденсатори, випарники, градирні, конденсатори змішання. Із всіх типів теплообмінників найбільш широке поширення одержали рекуперативні.

**1.3.2 Паливо для енерготехнологічних апаратів**

У багатьох енерготехнологічних апаратах в якості джерела енергії використовується органічне паливо (може також вживатися електроенергія або атомне паливо, альтернативні види енергії - сонячна, вітрова тощо). Розглянемо основні характеристики палива.

**Теплота згорання**- це кількість теплоти, щовиділилася при повному згоранні масової (для твердих і рідких речовин) або об'ємної (для газоподібних) одиниці речовини. Вимірюється в кДж (МДж) на 1 кг, м³ або кмоль [3].

Розрізняють нижчу і вищу теплоту згорання. ***Нижча теплота згорання*** *Q*нр- кількість тепла, що виділяється при повному згоранні одиниці об'єму або одиниці маси палива за нормальних умов без урахування теплоти конденсації водяної пари продуктів згорання газу. ***Вища теплота згоряння*** *Q*вр враховує це тепло. Частіше застосовується нижча теплота. Зв'язок між ними, якщо вони вимірюються у МДж/кг [3]:

*Q*нр ***=*** *Q*вр *–* 0,2512(*9Н*р *+ W*р)*,* (1.181)

де *Н*р - вміст водню в паливі, мас. %;

*W*р - вологість палива, мас. %.

Теплота згорання може визначатися на робочу масу палива (тобто на всю) – *Q*нр, або *Q*вр, на суху *Q*нс, без урахування вологи і на горючу, без урахування вологи і золи, *Q*нг.

Позначимо вміст золи *А*. Тоді перерахунок з робочою маси на суху і горючу здійснюється за рівняннями:

; (1.182)

, (1.183)

де *K*р – вміст компоненту у робочій масі, %;

*K*с – вміст компоненту у сухій масі, %;

*KГ* – вміст компоненту у горючій масі, %;

*Ар* - вміст золи в робочій масі, %.

Теплоту згорання твердого або рідкого палива розраховують за формулою Менделєєва, МДж / кг:

*Q*нр = 0,34*С*р + 1,035*Н*р – 0,109(*О*р - *S*лр) – 0,025 *W*р, (1.184)

де *S*лр – вміст у паливі летючої сірки, що входить у склад органічних сполук і сірчаного колчедану, %;

*С*р – вміст вуглецю, %;

*О*р – вміст кисню, %.

Теплоту згорання газоподібного палива визначають за об'ємним складом,% і теплоті згоряння компонентів, де хімічні формули компонентів позначають їх вміст у газі (об. %), МДж/м3:

*Q*нр = 0,358СН4 + 0,64С2Н6 + 0,915С3Н8 + 1,19С4Н10 +1,465С5Н12 + 0,591С2Н4+

*+*0,866С3Н6 + 0,1265СО + 0,1075Н2 + 0,234Н2S (1.185)

У таблиці 1.2 наведена нижча теплота згоряння для деяких палив.

Таблиця 1.2 – Нижча робоча теплота згоряння палива [3]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Тверде і рідке паливо** | **Нижча робоча теплота згоряння** | **Газоподібне паливо** | **Нижча робоча теплота згоряння** |
| Бензин | 44…46 | Бутан | 118 |
| Гас | 43 | Водень | 10,8 |
| Деревина свіжа | 10 | Доменний газ | 3…4,5 |
| Деревина суха | 14…20 | Етан | 63,75 |
| Кам’янийвугіль | 18 … 28 | Коксовий газ | 16 |
| Кокс | 18 | Метан | 35,82 |
| Мазут | 41..42 | Природний газ | 32…36 |
| Папір | 13,4 | Пропан | 91,1 |
| Торф | 14 | Оксид вуглецю | 12,64 |
|  |  | Сірководень | 23,4 |

***Визначення витрат повітря та кількості продуктів згорання.*** Ці значення розраховують на 1 кг твердого або рідкого і на 1 м3 газоподібного палива.

*Теоретичні витрати повітря* (тобто витрати згідно хімічної реакції горіння) *при спалюванні твердого або рідкого палива*, м3/кг:

*V*0 = 0,0889(*С*р + 0,375*S*лр) + 0,345*Н*р – 0,043*О*р. (1.186)

*Теоретичні витрати повітря при спалюванні газоподібного палива*, м3/кг:

*V*0 = *0,0476(0,5СО + 0,5Н2 + 1,5Н2S + Σ(m + )CmHn – О2)*. (1.187)

Величина ***V*0** являє собою мінімально необхідну кількість повітря для забезпечення повного згорання 1 кг (м3) палива за умови, що весь кисень повітря і кисень, що міститься у паливі, будуть використані при горінні [3].

Реально таких умов досягти важко, тому повітря для горіння подається у більшій кількості порівняно з теоретичною. Відношення дійсної кількості повітря, що подається до топки, до теоретично необхідного називається ***коефіцієнтом надлишку повітря***:

, (1.188)

де *VД* - дійсна кількість повітря, що подається до топки, м3;

*V0* - теоретично необхідна кількість повітря, м3.

Значення *α* залежить від виду палива, способу спалювання і конструкції топки, воно, як правило, коливається у межах 1,02…1,05 [3].

***Склад і кількість продуктів згорання.*** Продукти повного згорання палива при *α=1* містять СО2, SO2, Н2О, N2. Водяна пара у продуктах згорання утворюється при спалюванні водню або компонентів палива, що містять водень, при випаровуванні вологи палива та вноситься вологим повітрям. Азот потрапляє у продукти згорання з повітря і палива (якщо він там є). У продуктах згорання також присутні інші компоненти повітря – аргон, криптон, ксенон тощо, але їх вміст незначний і їм нехтують.

Якщо *α<1*, у продуктах згорання буде присутнє надлишкове повітря, тобто додаткова кількість азоту і кисню.

Знайдемо теоретичні об’єми продуктів згорання твердого палива, м3/кг. Об’єм СО2:

*Vсо2 = 0,0187Ср* . (1.189)

Об’єм двооксиду сірки:

*Vsо2 = 0,00701 Sл р* . (1.190)

Часто ці два компоненти об’єднують у формулі для трьохатомних газів:

*VRO2 =0,0187Ср*+ *0,00701 Sл р* . (1.191)

Теоретичний об’єм водяної пари:

*V0Н2О =0,111Нр* + *0,0124Wр + 1,24Wф + 0,0161V 0,* (1.192)

де *Нр -* кількість пари, що утворилася при згоранні палива, м3;

*W р* – вологість палива, %;

*W*ф – витрати пари (враховують тільки при застосуванні пари для розпилення мазуту), кг/кг;

*V 0* - вологовміст повітря (звичайно приймається 13 г/кг).

Теоретичний об’єм азоту:

*V0N2 =* *0,79V 0 + 0,008N р.* (1.193)

Якщо *α* **>** *1*, дійсні об’єми компонентів продуктів згорання складуть:

*VН2О = V0Н2О* + *0,0161V 0 (α - 1),*  (1.194)

*VN2 =* *V0N2 +* *0,79V 0 (α - 1),* (1.194)

*VO2 =0,21 (α - 1)*. (1.196)

Об’єм трьохатомних газів не залежить від коефіцієнту α.

Сумарний об’єм продуктів повного згорання:

*VЗГ* = *VRO2 + V0N2 +* *V0Н2О* + 1*,016V 0 (α - 1),* (1.197)

Для газоподібного палива теоретичний і дійсний об’єми азоту знаходяться за формулами (1.128) і (1.130). Теоретичний об’єм трьохатомних газів:

*VRO2 =* *0,01(СО2П + СО + Н2S + Σm CmHn*,) (1.198)

де *СО2П* - вміст двооксиду вуглецю в паливі, %.

Теоретичний об’єм водяної пари:

*V0Н2О = 0,01(Н2S + Н2 + Σ( CmHn*,) + *0,124d)*. (1.199)

При α**>**1 дійсні об’єми знаходять за формулами (1.194), (1.195), (1.196), (1.197).

Позначимо витрати палива *В*, кг/с (м3/с). Тоді витрати повітря на спалювання палива, кг/с (м3/с):

*QП = BVД.* (1.200)

Витрати продуктів згорання, м3/с:

*QЗГ = В VЗГ*  (1.201)