



PROFESIONĀLĀS IZGLĪTĪBAS
KOMPETENCES CENTRS
**RĪGAS VALSTS
TEHNIKUMS**



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

izstrādāts: ESF projekta "Rīgas Valsts tehnikuma sākotnējās profesionālās izglītības programmu īstenošanas kvalitātes uzlabošana" (2010/0106/1DP/1.2.1.1.3/09/APIA/IAA/047) ietvaros

Inta Bombiza

Mācību materiāls „Ķīmijas tehnoloģijas aparāti un procesi”

SATURS

Saturs.....	2
Anotācija.....	3
Ievads.....	4
1. Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesu iedalījums.....	5
2. Procesu materiālā bilance un siltuma (enerģijas) bilance.....	7
3. Siltuma procesi.....	9
3.1. Siltuma apmaiņas fizikālā būtība.....	9
3.2. Siltuma vadīšana.....	10
3.3. Siltuma apmaiņa konvekcijā (siltuma atdeve).....	13
3.4. Siltuma starošana.....	16
3.5. Siltuma pāreja.....	18
4. Kurināmais.....	21
4.1. Kurināmā veidi un to iedalījums.....	21
4.2. Kurināmā sastāva veidošanās.....	21
4.3. Kurināmā īpašības.....	22
4.4. Dažu kurināmo raksturojumi.....	23
4.5. Kurināmā veidu apraksts.....	24
4.6. Degšanas teorija.....	26
5. Kurtuves.....	27
5.1. Kurtuvju iedalījums.....	27
5.2. Kurtuves slodzes. Ekrāni.....	28
5.3. Siltuma zudumi kurtuvēs.....	29
5.4. Kurtuves cietā kurināmā sadedzināšanai.....	29
5.5. Kurtuves gāzveida kurināmajam.....	34
5.6. Kurtuves šķidram kurināmajam.....	35
6. Katlu agregāti.....	37
7. Žāvēšana.....	41
7.1. Žāvēšanas procesa vispārīgs raksturojums.....	41
7.2. Žāvēšanas pamatveidi.....	41
7.3. Žāvēšanas statika.....	42
7.4. Mitruma saistība ar materiālu.....	43
7.5. Mitrā gaisa svarīgākie parametri.....	44
8. Žāvētavas.....	48
9. Krāsnis.....	50
10. Literatūras saraksts.....	52

ANOTĀCIJA

Mācību metodiskais materiāls „Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesi un aparāti” ir paredzēts Ķīmijas tehnoloģijas profesijas audzēkņiem, kuri apgūst profesionālās vidējās izglītības programmu „Ķīmijas tehnoloģija”, iegūstot kvalifikāciju – ķīmijas tehniķis. Metodiskais materiāls paredzēts otrā, trešā un ceturta kursa audzēkņiem, lai tie iepazītos, labāk izprastu un apgūtu ķīmijas tehnoloģijas aparātus, iekārtas un procesus, siltumtehnikas teorētiskos pamatus, bez kuriem nevar iztikt neviena ķīmijas rūpniecības nozare.

IEVADS

Tehnoloģija ir mācība par ražošanu. Tā pēta metodes un procesus, kurus jāizmanto, lai no izejmateriāla iegūtu produktu – ražošanas līdzekļus, vai patēriņa priekšmetus. Tehnoloģiju iedala mehāniskajā un ķīmijas tehnoloģijā. Ķīmijas tehnoloģijas attīstības virzieni ir šādi:

- 1) aparātu un iekārtu ražīguma un izmantošanas intensitātes palielināšana;
- 2) darbietilpīgo procesu mehanizācija;
- 3) procesu automatizācija un distances vadīšana;
- 4) periodisku procesu nomaiņa ar nepārtrauktiem procesiem.

Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesu un aparātu kursā audzēkņiem jāiepazīstas ar pamatprocesiem, jāizprot procesu norises un aparātu darbības mehānisms. Jāprot sastādīt procesu materiālā bilance un tā kā viens no galvenajiem enerģijas veidiem ķīmiskajā rūpniecībā ir siltuma enerģija, jāprot aprēķināt pievadāmā un patērētā siltuma daudzumus procesā, sastādot siltuma bilanci, aprēķināt dažādu kurināmā veidu siltumspēju un tā patēriņu siltuma procesos (piem. žāvēšana, apdedzināšana, kausēšana, sildīšana, dzesēšana, ietvaicēšana u.c.

1. ĶĪMIJAS TEHNOLOĢIJAS PAMATPROCESU IEDALĪJUMS

Izejvielu vai pusfabrikātu apstrādes norises rūpniecībā sauc par tehnoloģiskiem procesiem. Jebkurš tehnoloģiskais process saistīts ar noteiktu vielu un enerģijas patēriņu, kā arī ar konkrētiem aparātiem (iekārtām), kuros procesa norises laikā uztur nepieciešamo darba režīmu (temperatūru, spiedienu, koncentrāciju u. c.).

Tehnoloģiskos procesus parasti iedala atbilstoši pamatlikumiem, kuriem tie pakļauti.

Hidromehāniskie procesi pakļauti hidrodinamikas pamatlikumiem. Pie šiem procesiem pieder, piemēram, šķidrumu pārvietošana, nostādināšana, filtrēšana, u. c. Hidromehāniskos procesus virza spiedienu starpība, centrālās spēks.

Siltuma procesi saistīti ar temperatūras maiņu vidēs, kas piedalās procesā. Šādi procesi ir, piemēram, sildīšana, dzesēšana, ietvaicēšana, žāvēšana, apdedzināšana, kausēšana, u. c.

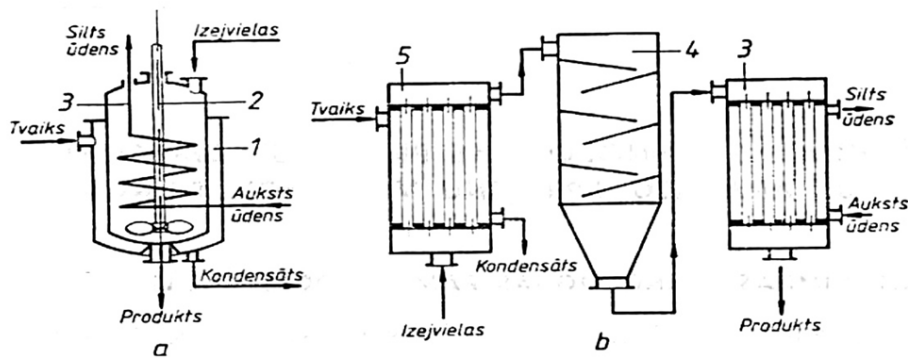
Masas apmaiņas (difūzijas) procesi saistīti ar masas apmaiņu starp fāzēm. Pie šiem procesiem pieder, piemēram, absorbcija, adsorbcija, ekstrakcija, žāvēšana, pārtvaice, u.c. Šos procesus virza koncentrāciju starpība atsevišķās fāzēs.

Mehāniskie procesi pamatojas uz to, ka apstrādājamo materiālu tiek pakļauts mehāniskā spēka iedarbībai, piemēram, drupināšana, malšana, sijāšana, cietu materiālu transportēšana, plastiskā veidošana, presēšana u.c. Šos procesus virza mehāniskais spēks un centrālās spēks.

Ķīmiskie procesi saistīti ar apstrādājamā materiāla ķīmiskās uzbūves maiņu, piemēram, hlorēšana, sulfurēšana, nitrēšana, neitralizēšana u. c. Ķīmiskos procesus virza ķīmiskā tieksme, temperatūra, spiediens, koncentrācija.

Metodiskajā materiālā apskatīti galvenokārt siltuma un mehāniskie procesi.

Procesus klasificē arī periodiskos un nepārtrauktos procesos. Periodiskā procesā tā atsevišķās stadijas notiek vienā aparātā dažādos laikos. Nepārtrauktā procesā tā atsevišķās stadijas realizē vienlaikus dažādos aparātos.



1.att. Aparāts a) periodiska procesa un iekārta b) nepārtraukta procesa realizēšanai

Aplūkosim procesu, kura pamatā šādas stadijas: izejvielu ievadīšana, sildīšana, maisīšana, dzesēšana un gatavā produkta izvadīšana. 1a attēlā parādīts aparāts periodiska procesa realizēšanai. Izejvielas ievada aparātā. Pēc tam, tvaika apvalkā 1 ievadot tvaiku, izejvielas uzsilda. Maisītājs 2 tās samaisa. Noteiktu laiku izejvielas silda attiecīgā temperatūrā. Tad iegūto produktu dzesē, dzesinātājā 3 ievadot aukstu ūdeni. Procesā beigās iegūto produktu izvada no aparāta. Visas šīs stadijas realizē vienā aparātā.

Lai šo procesu veiktu nepārtraukti, lieto iekārtu 1b, kas sastāv no sildītāja 5, kurā izejvielas. Tālāk karstās izejvielas plūst reaktorā 4 no plaukta uz plauktu un samaisās. Reakcijas produktu aizvada uz dzesinātāju 3. Izejvielas ievada un produktu izvada nepārtraukti. Šīs stadijas realizē trīs aparātos.

Nepārtrauktiem procesiem salīdzinājumā ar periodiskiem procesiem ir šādas priekšrocības:

- uzlabojas produktu kvalitāte,
- aparāti ir vienkāršāki,
- darba apstākļi parocīgāki,
- procesi viegli automatizējami.

Gadījumos, kad nepieciešams liels ražīgums un nav bieži jāmaina darba režīms, izdevīgāki ir nepārtrauktie procesi.

Procesus vēl iedala stacionāros procesos un nestacionāros procesos. Stacionāros procesos tos raksturojošie parametri laikā nemainās, piemēram, ja procesu raksturo temperatūra t , plūsmas ātrums w un koncentrācija c , tad šie lielumi ir atkarīgi tikai no vietas aparātā. Nepārtrauktos procesos ir ir nestacionāri posmi – uzsākot un nobeidzot procesu. Nestacionāros procesos šie lielumi mainās telpā un laikā τ . Nestacionāri procesi ir periodiski procesi.

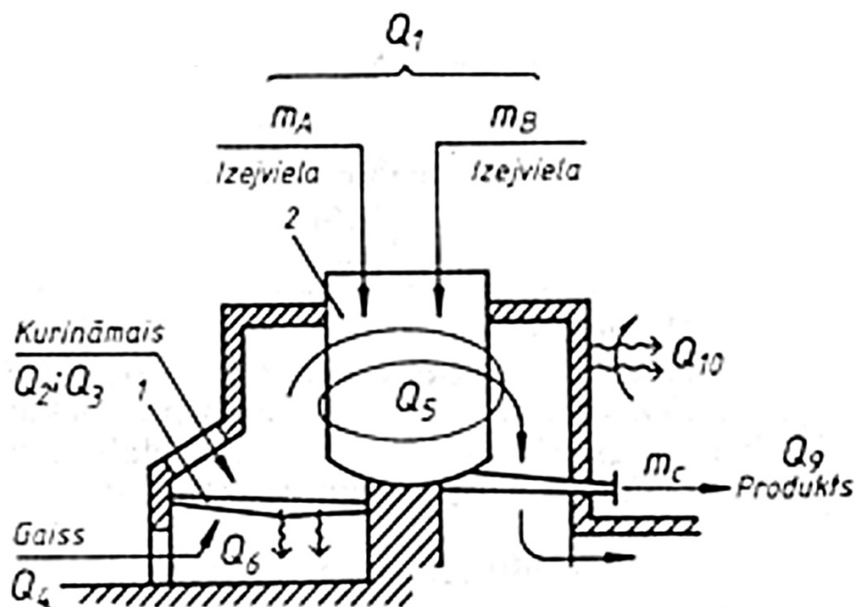
2. PROCESU MATERIĀLĀ BILANCE UN SILTUMA (ENERGIJAS) BILANCE

Materiālās bilances pamatā ir masas nezūdamības likums. Materiālo bilanci sastāda, ņemot par pamatu procesa viena cikla ražīgumu vai ražīgumu diennaktī. Materiālās bilances rādītājus parasti apkopo tabulā, kurā ir divas daļas – iekārtā vai sistēmā ievadītā materiālu masa (vienādojuma kreisā puse) un izvadītā materiālu masa (vienādojuma labā puse). Materiālo bilanci var sastādīt arī ilgākam laika posmam, piem. gadam, mēnesim, u.c.

Materiālās bilances datus izlieto iekārtu un aparātu aprēķiniem un to izvēlei, siltuma bilances sastādīšanai, lai varētu aprēķināt nepieciešamo siltuma enerģiju tehnoloģisko procesu norisei.

Materiālās bilances sastādīšanas piemērs:

$$m_A + m_B = m_C + m_{\text{zud}}$$



2. att. Shēma materiālās bilances un siltuma bilances sastādīšanai

m_A un m_B ir iekārtā ievadāmo izejmateriālu daudzums kg, bet m_C ir reakcijas rezultātā radušos produkta daudzums, kg un m_{zud} ir zudumi, kas rodas procesa laikā, daļai materiālu iztvaikojot, paliekot pie iekārtas sienām, noplūstot caur neblīvām vietām, u.c. (keramikas tehnoloģijā neievērojot temp. režīmu žāvētavās un krāsnīs).

Materiālās bilances rādītājus parasti sakopo tabulā, kurā ir divas daļas – sistēmā ievadītā materiāla masa (vienādojuma kreisā puse) un izvadītā materiāla masa (vienādojuma labā puse).

Materiālās bilances datus izlieto aparātu aprēķiniem un to izvēlei, siltuma bilances sastādīšanai un citiem tehnoloģiskajiem un ekonomiskajiem aprēķiniem, kā arī tehnoloģiskā procesa pareizai organizēšanai.

Siltuma bilance ir nepieciešama, lai redzētu kā sadalās siltuma enerģija dažādās procesa stadijās, lai varētu izvēlēties ekonomiski izdevīgākos siltuma enerģijas avotus (tvaika katlus, kurtuves kurināmā sadedzināšanai, kurināmā veidus, u. c.).

Galvenie enerģijas veidi ķīmiskās rūpniecības nozarēs ir siltuma enerģija, mehāniskā enerģija un elektroenerģija. Siltuma enerģija ir viena no svarīgākajām, tādēļ aplūkosim siltuma bilanci 2. attēlā redzamajai iekārtai ar dūmgāzu apsildi.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} \text{ jeb}$$
$$\Sigma Q_{\text{ieej.}} = \Sigma Q_{\text{izej.}}$$

Vienādojuma kreisā puse rāda sistēmā (iekārtā) ievadīto siltumu: ar izejvielu masu Q_1 ; ar kurināmā fizikālo siltumu Q_2 ; ar kurināmā sadegšanas siltumu Q_3 ; ar gaisu Q_4 un reakcijas siltumu Q_5 (ja process ir eksotermisks). Vienādojuma labajā pusē summēts no sistēmas aizvadītais siltums ar mehāniskiem kurināmā zudumiem (piem.: daļa cietā kurināmā izbirst caur ārdiem, šķidrā un gāzveida kurināmā neparedzētas noplūdes padeves laikā, u. c.) Q_6 ; ar aizvadāmajām dūmgāzēm Q_7 , ar pilnīgi nesadedzinātu kurināmo Q_8 (dūmgāzēs paliek CO); siltuma zudumi ar izvadīto produktu Q_9 ; siltuma zudumi apkārtējā vidē caur iekārtas sienām, griestiem u.c. Q_{10} , un pārējie siltuma zudumi Q_{11} , kas raksturīgi reāliem procesiem (siltuma noplūde caur pamatu, ar pelniem u.c.).

3. SILTUMA PROCESI

3.1. Siltuma apmaiņas fizikālā būtība

Ķīmijas tehnoloģijā siltuma enerģija ir viens no galvenajiem enerģijas veidiem. Dažās rūpniecības nozarēs (metallurģijā, cementa, keramikas, stikla rūpniecībā u. c.) patērē ļoti daudz siltuma enerģijas. Daudzu tehnoloģisko procesu pamatā ir siltuma procesi, piem., ietvaicēšana, žāvēšana, pārtvaice, dzesēšana, apdedzināšana u.c. Lai varētu realizēt šos siltuma procesus, jāzina siltuma apmaiņas likumi.

Par siltuma apmaiņu sauc siltuma enerģijas izplatīšanās (pārneses) procesu ķermeņos (cietos, šķidrās, gāzveida) vai ķermeņu kopā – sistēmā.

Siltums pāriet no viena ķermeņa uz citu ķermeni vai no vienas ķermeņa daļas uz citu daļu tikai tad, ja starp šiem ķermeņiem vai ķermeņu daļām ir temperatūru diference (starpība). Siltuma apmaiņa ir neatgriezenisks process, kas var sastāvēt no trim atsevišķiem siltuma enerģijas izplatīšanās veidiem dažādās to kombinācijās: no siltuma vadīšanas, siltuma konvekcijas (atdeves) un starošanas.

Siltuma vadīšanā enerģija tiek pārnesta saskaroties molekulām un atomiem, kā arī difundējot vielas mikrodaļiņām (molekulā, atomiem un elektroniem).

Šķidrums un cietos ķermeņos – dielektriķos (vielās, kas vāji vada elektrību un siltumu) molekulas un atomi, kuriem piemīt lielāka kinētiskā enerģija, t. i., kuru svārstību kustība ātrāk, atdod daļu enerģijas blakusesošajām lēnākajām molekulām un atomiem. Šajā gadījumā enerģiju pārnes vielas daļiņu elastīgo svārstību viļņi.

Gāzēs siltuma vadīšana notiek, savstarpēji saduroties molekulām ar dažādu kinētisko enerģiju, kā arī difundējot molekulām un atomiem.

Metālos enerģiju pārnes brīvie elektroni un nedaudz arī kristāliskā režģa svārstības.

Siltuma konvekcija notiek tikai gāzēs un šķidrums, kad pārvietojas un sajaucas lielas molekulu grupas resp. šķidrums vai gāzes daļas ar dažādām temperatūrām. Šķidrums (arī tvaika un gāzes) konvektīvā kustība var notikt divejādi brīvās vai piespiedu konvekcijas veidā.

Brīvās konvekcijas gadījumā daļiņas pārvietojas masas blīvuma starpības dēļ. Karstākajām daļiņām ir mazāks blīvums – tās ceļas uz augšu.

Piespiedu konvekcijas realizēšanai izmanto sūkņus, ventilatorus un citas ierīces, ar kurām šķidrums vai gāzes pārvieto un sajauc.

Vielai atrodoties t.s. bezsvara stāvoklī, piemēram, kosmiskajos kuģos, brīvā konvekcija nevar notikt.

Siltuma starošanā viens ķermenis daļu iekšējās enerģijas atdod citam ķermenim ar elektromagnētisko viļņu starpniecību. Elektromagnētiskās svārstības rodas uz molekulu, atomu un elektronu kinētiskās enerģijas rēķina. Ķermeni sildot, tiek ierosināti atomi, un tie pāriet uz augstāku enerģētisko līmeni, tie izstaro enerģiju – t.s. kvantus jeb fotonus, kuri izplatās ar gaismas ātrumu.

Ķermenis izstaro siltuma enerģiju uz visām pusēm. Raksturīga starošanas īpatnība ir tā, ka starptelpa bieži vien netiek sasildīta. Tā, piemēram, saule, kuras virsmas efektīvā temperatūra ir 5762 K, nepārtraukti izstaro milzīgus enerģijas daudzumus, tomēr starptelpas temperatūra ir tuva absolūtai nullei.

Dažreiz starošanu sauc par radiāciju, bet to nedrīkst sajaukt ar radioaktīvo vielu radiāciju.

Praksē enerģija vienlaikus tiek pārnesta visos trijos vai divos siltumapmaiņas veidos. Tā, piemēram, tvaika katla kurtuvē siltums no sadegšanas produktiem pāriet uz katla sienām starošanas un konvekcijas veidā. Caur katla sienu notiek siltuma vadīšana, bet tālāk no katla sienas uz ūdeni – atkal konvekcija.

Siltuma apmaiņu konvekcijas veidā no cietā ķermeņa uz gāzi vai šķidrumu un otrādi – no gāzes vai šķidruma uz cietu virsmu – sauc par siltuma atdevi.

Siltuma apmaiņu starp diviem siltumnesējiem caur atdalošo sienu sauc par siltuma pāreju.

3.2. Siltuma vadīšana

Siltuma vadīšana ir atkarīga no temperatūras sadalījuma ķermenī.

Siltuma izplatīšanās saistīta ar ķermeņa (vides) temperatūras sadalījumu. Vispārīgā gadījumā temperatūra kādā punktā ir atkarīga no šī punkta koordinātēm un laika τ , t.i.

$$t = f(x, y, z, \tau).$$

Temperatūras vērtību kopumu telpā (ķermenī) jebkurā laika momentā sauc par temperatūras lauku.

Ja temperatūra atsevišķos ķermeņa punktos laikā nemainās, temperatūras lauks ir stacionārs; ja turpretim temperatūra mainās, lauks ir nestacionārs.

Savienojot punktus, kuru temperatūras dotajā laika momentā ir vienādas, iegūst t.s. izotermiskās virsmas. Stacionāra temperatūras lauka izotermiskās virsmas ir nekustīgas, bet nestacionāram laukam tās pārvietojas un ir mainīgas.

Siltums pāriet temperatūras samazināšanās virzienā perpendikulāri izotermiskajām virsmām.

Siltuma daudzumu, kas laika vienībā iziet caur izotermiskas virsmas laukuma vienību sauc par īpatnējo siltuma plūsmu.

$$q = Q / \tau \cdot F \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Kopējais siltuma daudzumu, kas vadīšanas veidā izplūst caur laukumu $F \text{ m}^2$ laikā τ , var aprēķināt:

Siltuma vadīšanas procesa pamatvienādojums ir šāds:

$$Q = qF \tau = \lambda / \delta \cdot (t_1 - t_2) F \tau \text{ (kJ),}$$

kur Q - siltuma daudzums, kas izplūst caur laukumu F (J);

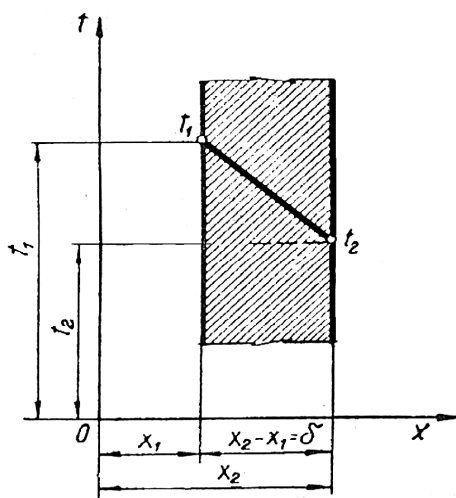
λ – siltumvadītspējas koeficients (W/m.deg);

$(t_1 - t_2)$ – temperatūru starpība starp divām izotermiskām virsmām (deg), ja $t_1 > t_2$;

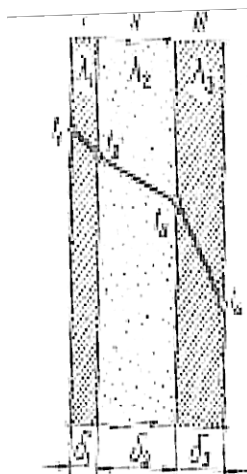
δ – attālums starp šīm virsmām (m);

F – izotermiskās virsmas laukums perpendikulāri siltuma plūsmai (q);

τ – laiks (s, h);



3. att. Siltuma vadīšana plakanā sienā



4. att. Siltuma vadīšana plakanā kārtainā sienā

Siltumvadītspējas koeficients

Siltuma vadītspējas koeficients λ ir viens no svarīgākajiem vielas fizikālajiem lielumiem.

$$\lambda = Q \cdot \delta / F \cdot (t_1 - t_2) \quad \text{W/ m K}$$

Siltumvadītspējas koeficients λ rāda to siltuma daudzumu džoulos, kas izplūst caur 1 m² virsmas 1 sekundē, ja temperatūru starpība virsmām 1°C un attālums starp tām 1m.

λ vērtības dažādām vielām ir atšķirīgas un tās nosaka eksperimentāli. Savukārt dotajai vielai λ mainās atkarībā no temperatūras, vielas agregātstāvokļa, citu vielu piemaisījumiem, apstrādes veida un citiem faktoriem.

Parastajos apstākļos siltumu vislabāk vada metāli, bet visvājāk – gāzes. Tā, piemēram, gaiss siltumu vada 3000 reizu vājāk nekā dzelzs un 15000 reizu vājāk nekā sudrabs.

Metāliem siltumvadītspējas koeficienta skaitliskās vērtības ir no 2.3 līdz 418 W/m.K. Ja metāliem paaugstinās temperatūra, to siltumvadītspējas koeficients pieaug (izņēmums ir sakausējums bronza). Pat nelielas citu vielu piedevas ievērojami ietekmē siltumvadītspējas koeficientu. Būvmateriāliem un siltumizolācijas materiāliem, tāpat kā metāliem, līdz ar temperatūras paaugstināšanos λ pieaug (izņēmums magnēzītķieģeļi). Materiālus, kuriem λ ir mazāks par 0.23, uzskata par siltumizolātoriem.

Irdeniem, šķiedrainiem un porainiem materiāliem λ atkarīgs no tilpummasas (porainības) un mitruma. Jo mazāka tilpummasa un mitrums, jo siltumvadītspēja slīktāka un λ mazāks.

Cieto vielu maisījumiem nav izmantojams aditivitātes likums (t.i. Zinot λ atsevišķiem komponentiem, to aprēķināt nevar), bet λ nosaka eksperimentāli.

Šķidrums un gāzēs siltuma apmaiņa parasti notiek konvekcijas rezultātā. Šķidrums (gāzēm) pārvietojoties ļoti plānā slānī, kā arī robežkārtā, konvekcijas ietekme ir niecīga, un noteicošā ir siltuma vadītspēja. Šķidrums siltumvadītspējas koeficients λ ir $9 \cdot 10^{-2} \dots 710^{-2}$ W/m.K. Paaugstinoties šķidruma temperatūrai, λ samazinās (izņēmumi ir ūdens, glicerīns un dažu vielu ūdens šķīdumi). Šķidrums spiediena ietekme uz λ ir niecīga (200 Mpa spiedienā λ vidēji palielinās par 10...15 %).

Šķidrumu maisījumiem (arī šķīdumiem) siltumvadītspējas koeficientu λ aptuveni var aprēķināt pēc aditivitātes likuma, t.i.,

$$\lambda_{\text{mais.}} = 0.01 (\lambda_{1 \cdot c_1} + \lambda_{2 \cdot c_2} + \dots \lambda_{n \cdot c_n}),$$

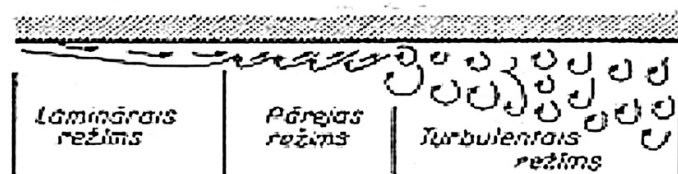
kur λ_1, λ_2 utt. – maisījumu veidojošo komponentu siltumvadītspējas koeficienti; c_1, c_2 utt. – maisījumu veidojošo komponentu procentuālais sastāvs.

Gāzēm siltumvadītspējas koeficients ir $6 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-1}$ W/m.K. Gāzēm λ mainās spiediena ietekmē. Ļoti lielā retinājumā siltumvadītspēja pasliktinās. Pieaugot gāzes temperatūrai λ palielinās.

Gāzu maisījuma siltumvadītspējas koeficienta aprēķināšanai aditivitātes likumu nevar izmantot.

3.3. Siltuma apmaiņa konvekcijā (siltuma atdeve)

Šķidrumam vai gāzei plūstot gar cieta ķermeņa virsmu, kurai ir atšķirīga temperatūra, vienlaikus ar šķidruma mehānisko kustību notiek siltuma atdeve.



5.att. Trīs plūsmu veidi

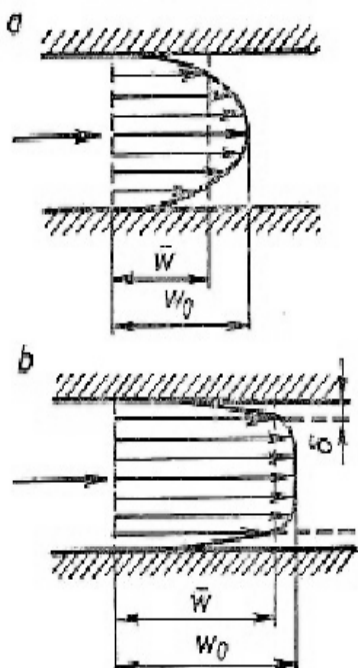
Brīvā konvekcija rodas atsevišķu daļiņu nevienmērīgas sasilšanas dēļ. Daļiņas, kas atrodas tuvāk karstajai virsmai, sasilst, to blīvums samazinās un tās ceļas uz augšu.

Piespiedu konvekcijā šķidrums vai gāze pārvietojas spiedienu starpības dēļ. Spiedienu starpību var izraisīt vējš, šķidrumu līmeņu starpība, ventilātori, sūkņi.

Ja piespiedu konvekcijas izraisītie plūsmas ātrumi ir mazi, tad temperatūru starpība starp siltuma nesēju un sienu ir liela, tad jāņem vērā abi šķidrumu kustības veidi – gan brīvā, gan arī piespiedu konvekcija.

Šķidrumu plūsmas režīms var būt laminārs un turbulents.. Izšķir arī pārejas režīmu, kad laminārā plūsma pāriet turbulentajā un otrādi.

Laminārajā režīmā šķidrums plūst atsevišķu paralēlu strūkļu veidā. Strūkļiņas ir paralēlas sienas virsmai un savastarpēji nesajaucas, t.i., šķērsvirzienā šķidrums praktiski nepārvietojas.



Sienas (caurules) virsmas tuvumā šķidruma daļiņas it kā pielīp sienai, un šo daļiņu ātrums ir nulle. Šķidruma iekšējās berzes dēļ pie sienas pielīpušās daļiņas bremzē blakusesošo daļiņu slāņu kustību. Attālinoties no kanāla sienas, daļiņu ātrums pieaug pēc parabollas likuma.

Turbulentā režīmā šķidruma atsevišķo daļiņu trajektorijas ir līkloču ar virpuļiem, kas nemitīgi rodas un izzūd. Daļiņu ātrums kādā punktā nemitīgi maina savu absolūto vērtību un virzienu – tas pulsē. Visas plūsmas vidējais ātrums tomēr paliek nemainīgs.

6.att. Ātruma sadalījums caurulē

a – lamināra plūsma; b – turbulenta plūsma; w – plūsmas vidējais ātrums; w_0 plūsmas maksimālais ātrums;

Laminārā plūsma pāriet turbulentajā, kad Reinoldsa skaitlim ir t.s. kritiskā vērtība Re_{kr} . Eksperimentāli ir atrasts, ka piespiedu konvekcijai plūsmai caurulēs un kanālos $Re_{kr} \approx 2300$. Tātad, ja $Re < 2300$, plūsma ir lamināra.

Tā kā eksistē pārejas josla, tad izteikts turbulents režīms sākas, kad $Re > 3000 \dots 4000$. Tāpēc par attīstītu turbulento režīmu caurulēs uzskata režīmu, kad $Re > 10^4$, Reinoldsa skaitli 2300 uzskata par minimālo, pie kura vēl iespējams turbulents režīms.

Brīvās konvekcijas gadījumā laminārās plūsmas pāreja turbulentajā plūsmā notiek, kad Grashofa un Prandtla skaitļu reizinājuma kritiskā vērtība

$$(GR PR)_{kr} \geq 2 \cdot 10^7.$$

No plūsmas rakstura atkarīga siltuma atdeve.

Laminārajā režīmā siltums plūsmas šķērsvirzienā, t.i. no sienas uz šķidrumu vai otrādi, pāriet galvenokārt siltuma vadīšanas veidā. Siltuma apmaiņa konvekcijas veidā ir niecīga. Līdz ar to laminārās plūsmas ātrums gandrīz nemaz neietekmē siltuma atdeves intensitāti.

Turpretī turbulentajā režīmā dažādie šķidruma slāņi intensīvi sajaucas, tāpēc siltuma atdeves intensitāte ir lielā mērā atkarīga no plūsmas ātruma.

Turbulentajā režīmā caurules šķērsriezuma vidū ātrums ir samērā nemainīgs (2.19. att. b). “Šķidrums plūst it kā bez iekšējās berzes, un tikai sienas tuvumā eksistē robežslānis, kurā šķidrums plūst lamināri vai pat neplūst nemaz (pie pašas sienas).

Robežslāņa biezums δ ir atkarīgs no plūsmas ātruma un viskozitāte resp. Reinoldsa skaitļa. Jo lielāks plūsmas ātrums un lielāka turbulence, jo plānāks ir robežslānis un lielāka siltuma atdeves intensitāte.

Temperatūras sadalījums caurules šķērsgriezumā ir līdzīgs ātruma sadalījumam.

Siltuma apmaiņas gadījumos bez hidrodinamiskā robežslāņa veidojas arī siltuma robežslānis. Laminārajā plūsmā siltuma robežslāņa biezums vienāds ar caurules rādiusu ($\delta = d/2$), jo siltuma apmaiņa notiek galvenokārt siltuma vadīšanas veidā. Turpretī turbulentajai plūsmai temperatūras lauks ir atšķirīgs: gandrīz visā caurules šķērsgriezumā temperatūras sadalījums ļoti vienmērīgs, un tikai pie pašas sienas temperatūra strauji mainās.

Šeit saskatāma analogija starp hidrodinamiskajiem un siltuma apmaiņas procesiem. Uz šīs līdzības pamata O. Reinoldss izveidoja t.s. siltumapmaiņas hidrodinamisko teoriju.

Šī teorija, pieņemot, ka siltuma konvekcija noris vienlaikus ar mehāniskās enerģijas pārveidi, ļauj saistīt siltuma atdevi ar plūsmas berzes pretestībām. Tādejādi, izmantojot hidrodinamisko mēģinājumu rezultātus, var atrast aprēķina izteiksmes siltuma atdvei.

Siltuma konvekciju var intensificēt, palielinot plūsmas ātrumu. Bet tad palielinās enerģijas

patēriņš hidraulisko pretestību pārvarēšanai. Tāpēc siltumnesēja plūsmas ātrumu izvēlas vadoties no ekonomiskajiem apsvērumiem.

Šķidrums vai gāze var plūst ne tikai apaļās caurulēs, bet arī taisnstūrveida un citas formas kanālos. Bez tam šķidrums var plūst arī šķērsām plakanām virsmām, caurulēm vai cauruļu kūļiem. Arī tad paliek spēkā analogija starp hidrodinamikas siltuma atdeves procesiem.

Ja caurulei nav apaļš šķērsriezums, tad tās raksturīgo lineāro izmēru – t.s. Ekvivalento diametru atrod pēc formulas :

$$d_{ekv} = 4F / U,$$

kur S – kanāla šķērsriezuma laukums;

U – kanāla šķērsriezuma perimetrs.

Dažreiz cietas virsmas tuvumā rodas pretēja virziena plūsmas un robežslānis atraujas no virsmas. Tas rada virpuļus un intensificē plūsmas sajaukšanos. Līdz ar to pieaug siltuma atdeve. Šāda parādība novērojama, plūsmai apskalojot lodī, cilindru šķērsām garenasij un citos gadījumos.

Konvekcijā atdoto un uzņemto siltumu var noteikt pēc Ņūtona atdzesēšanas likuma. Saskaņā ar šo likumu siltuma plūsma q , ko virsma S ar temperatūru t_s , 1 sekundē atdod apkārtējai videi ar temperatūru t_v , ir tieši proporcionāla temperatūru starpībai $t_s - t_v$ un virsmai F ,

$$q = \alpha (t_s - t_v) \cdot F$$

kur α – siltumatdeves koeficients; F – virsma, m^2 ; t_s – virsmas temperatūra, $^{\circ}C$; t_v – vides temperatūra ;

No vienādojuma var izriet, ka siltumatdeves koeficienta vienādība ir:

$$\alpha = q / F (t_s - t_v) \text{ W/ m}^2 \cdot K$$

Siltumatdeves koeficients alfa izsaka siltuma daudzumu, ko konvekcijā $1m^2$ virsmas atdod (uzņem) apkārtējai videi 1 sekundē, ja temperatūru starpība starp sienu un vidi ir 1 grāds .

Siltuma atdeves koeficients atkarīgs no daudziem fizikāliem lielumiem:

$$\alpha = f (w, \rho, \mu, c, t, p, d, l, \dots)$$

Siltuma atdeves koeficienta noteikšanai tiek izmantoti t.s. līdzības kritēriji : Nu – Nuselta, Gr – Grashofa, Pr – Prantla, Re – Reinoldsa, u.c.

Siltuma atdeves galvenie veidi ir šādi:

- 1) siltuma atdeve, videi nemainot agregātstāvokli: siltuma apmaiņa brīvā un piespiedu konvekcijā, siltumapmaiņa divfāžu vidēs;
- 2) siltuma atdeve, videi agregātstāvokli: šķidrumam verdot, iztvaikojot, tvaikam kondensējoties, vielai mainot agregātstāvokli cietas fāzes (kristālu) klātbūtnē;
- 3) siltuma atdeve īpašos apstākļos: dispersās un bioloģiskās sistēmās, ēkās un būvēs, apkārtējā vidē u.c.

Siltuma atdeves koeficients α krasi mainās atkarībā no konkrētajiem apstākļiem. Aptuvenās siltuma atdeves koeficienta vērtības (W/m^2K) dažiem siltuma atdeves veidiem ir šādas:

Gāzēm brīvā konvekcijā: 6...35

Gāzēm pārvietojoties pa caurulēm: 12 – 120

Ūdenim brīvā konvekcijā: 120 – 1200

Ūdenim cirkulējot caurulēs: 580 – 11600

Ūdenim verdot: 2300 – 11600

Piesātinātam ūdens tvaikam kondensējoties

Siltuma apmainītājos: 10 000 – 12 000

3.4. Siltuma starošana

Tehnikā, kur jāstopas ar augstām temperatūrām, piemēram, krāsnīs, tvaika katlos, siltuma apmaiņa notiek galvenokārt siltuma starošanas veidā.

Siltuma starošana atšķirībā no citiem siltuma apmaiņas veidiem nav atkarīga no apkārtējās vides temperatūras. Siltuma starošana saistīta ar elektromagnētiskajiem viļņiem, ko izstaro ķermeņi un kas ar ātrumu $3 \cdot 10^8$ km/s pārvietojas līdz nākamai virsmai; tur šo viļņu ietekmē pieaug molekulu kinētiskā enerģija, un tas savukārt izpaužas ķermeņa sasilšanā. Šādas īpašības piemīt tikai noteiktam elektromagnētisko viļņu diapazonam – $8 \cdot 10^{-6}$ līdz $35 \cdot 10^{-5}$ m. Šos elektromagnētiskos viļņus sauc par siltuma stariem.

Siltuma starojums, sastopot kādu ķermeni, daļu savas enerģijas A atdod tam, bet daļa R atstarojas. Tā starojuma daļa, kas nokļūst ķermenī, var izplūst tam cauri D vai arī palikt tanī, pārejot siltumā. Apzīmējot kopējo uz ķermeni krītošo staroto siltumu ar vienu, saskaņā ar enerģijas nezūdamības likumu var uzrakstīt šādu vienādojumu:

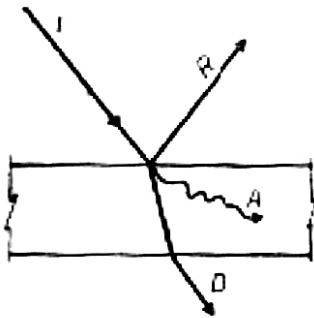
$$A + R + D = 1.$$

Atkarībā no tā, kā ķermeni sasniegusi siltuma enerģija sadalās, izšķir trīs galējus ķermeņu veidus: Ja $A = D = 0$, tad $R = 1$, un šādu ķermeni sauc par absolūti melnu ķermeni (tas absorbē visu siltuma enerģiju). Ja $A = R = 0$, tad $D = 1$, un šādu ķermeni uzskata par absolūti caurspīdīgu, (dzidru) jeb diatermisku ķermeni.

Tehnikā lietojamie cietie un šķidrie ķermeņi siltuma stariem ir necaurļaidīgi, t.i., $D = 0$, tad :

$$A + R = 1;$$

No šī vienādojuma izriet: jo labāk ķermenis saista siltuma starus, jo mazāk tas tos atstaro – un otrādi.



7. att. Siltuma apmaiņa starojot

Parasti nav nedz absolūti baltu, nedz absolūti melnu, nedz absolūti caurspīdīgu ķermeņu. Ķermeņus, kas neatbilst šiem nosacījumiem, sauc par pelēkiem ķermeņiem.

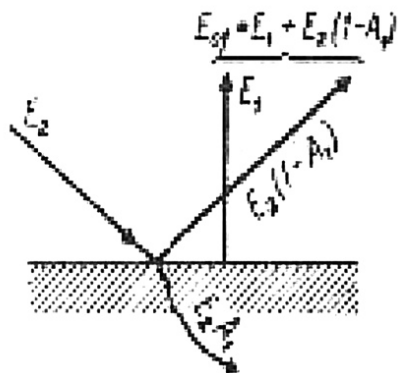
Siltuma staru saistīšanās un atstarošanās liela nozīme ir virsmai. Gludas un pulētas virsmas neatkarīgi no krāsas siltuma starus atstaro vairākārt labāk nekā negludās virsmas.

Ķermeņa starošanas spēju E , kas atbilst noteiktai temperatūrai un fizikālām īpašībām, raksturo ar enerģijas daudzumu, ko tas izstaro no laukuma vienības laika vienībā. Vienādā temperatūrā maksimālā starošanas spēja piemīt absolūti melnai virsmai, bet minimālā starošanas spēja, kas vienāda ar nulli, – absolūti baltai virsmai.

Vienlaikus ar izstaroto enerģijas plūsmas blīvumu E_1 ķermeņa virsma no apkārtējās vides saņem enerģijas plūsmas blīvumu E_2 . Daļa no šīs enerģijas $E_2 A_1$ (ja A_1 ir ķermeņa absorbcijas koeficients) absorbējas (paliek ķermenī), otra daļa $E_2 (1 - A_1)$ atstarojas. Tādēļ ķermeņa faktiski starotais enerģijas plūsmas blīvums,

$$E_{ef} = E_1 + E_2 (1 - A_1)$$

un to sauc par ķermeņa efektīvo starojumu, kur E_1 – sakarsētā ķermeņa izstarotais enerģijas plūsmas blīvums, W/m^2 ; $E_2 (1 - A_1)$ -atstarotais enerģijas plūsmas blīvums, W/m^2 .



8. att. Ķermeņa izstarošanas spēja

3.5. Siltuma pāreja

Ļoti bieži ķīmiskās rūpniecības iekārtās siltuma apmaiņa starp divām vidēm notiek caur sienu. To sauc par siltuma pāreju, kad vienlaikus notiek starošana, konvekcija un siltumvadīšana.

Ja temperatūra nemainās, siltuma pāreju saliktā sienā izsaka ar vides 1 konvekcijas rezultātā sienai atdoto siltuma plūsmas blīvumu q :

$$q = \alpha_1 (t_1 - t), \quad \delta$$

kur α_1 - vides 1 siltumatdeves koeficients.

Tā kā sistēmas temperatūra nemainās, tad viss siltums, kas no vides 1 pāriet uz virsmu, aizplūst cauri sienai. Sienā siltums izplatās vadīšanas veidā, tādēļ var rakstīt, ka siltuma blīvums

$$q = -t / \delta$$

Sienai pieplūstošais siltums konvekcijas (vai arī konvekcijas un starošanas) rezultātā aizplūst uz vidi 2. Apzīmējot vides 2 siltuma atdeves koeficientu ar α_2 , var rakstīt, ka

$$q = \alpha_2 (t'' - t_2)$$

Saskaitot vienādojumus un izdarot attiecīgas matemātiskas darbības, iegūst vienādojumu, kuru

apzīmē ar k un sauc par siltuma pārejas koeficientu; tad

$$q = k (t_1 - t_2)$$

Siltuma plūsma, kas sekundē pāriet caur plakānu sienu ar laukumu F , ir šāda:

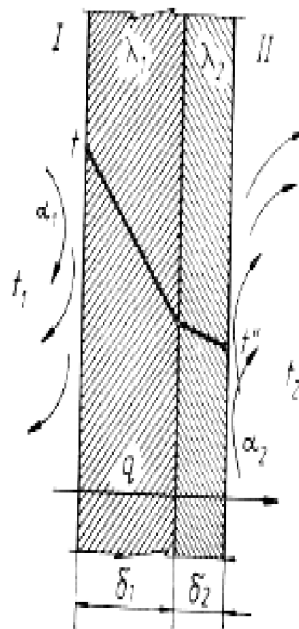
$$Q = k (t_1 - t_2) F$$

$$k = Q / (t_1 - t_2) F$$

Siltuma pārejas koeficienta mērvienība ir $W / m^2 \cdot K$;

Siltuma pārejas koeficients izsaka siltuma daudzumu, kas pāriet no vides ar augstāku temperatūru cauri sienai uz vidi ar zemāku temperatūru caur $1 m^2$ virsmas 1 sekundē, ja temperatūru starpība starp vidēm ir $1^\circ C$.

Aprēķinot siltuma pārejas koeficientu siltuma apmaiņas iekārtām, jāievēro, vai uz sildvirsmām nav nogulumu kārtā. Nogulumu kārtā uz sildvirsmas ne tikai pasliktina siltuma pārejas



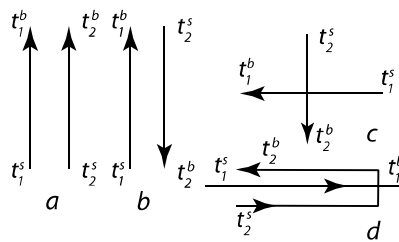
9. att. Siltuma pāreja saliktā sienā.

intensitāti, bet vienlaikus paaugstina sienas temperatūru; tas dažreiz var būt par iemeslu avārijai. Aprēķinos pieņem, ka nogulumu kārtas biezums 0.5...1 mm, bet siltumvadītspējas koeficients ir robežās 1,2....2,3 W/ m. K.

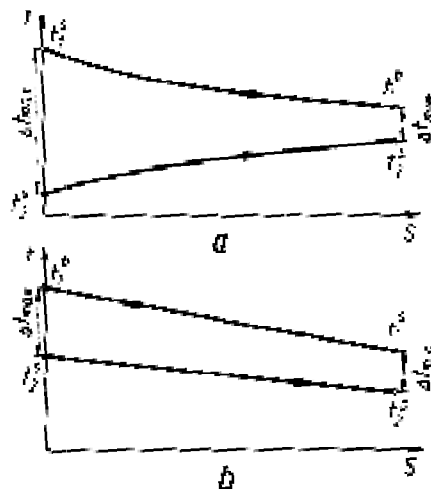
Siltuma pāreja mainīgā temperatūrā

Līdz šim, apskatot siltuma pāreju, pieņēmām, ka vidēm visos to punktos temperatūra ir vienāda. Parasti dažādās siltumapmaiņas iekārtās novērojama temperatūras maiņa pa sildvirsmu, kā arī temperatūras maiņa līdz ar laiku (nestacionāra siltuma plūsma).

Siltumapmaiņas iekārtās var būt līdzplūsma, pretplūsma, šķērsplūsma un jauktā plūsma. Plūsmu pamatveidu shēmas un plūsmu temperatūru sadalījums pa sildvirsmu redzams 10. att.un 11. att.



10. att. Plūsmu pamatveidu shēma



11. att. Plūsmu temperatūru sadalījums pa sildvirsmu.

Vidējā temperatūru starpība šķērsplūsmai un jauktajai plūsmai vienmēr ir mazāka nekā pretplūsmai, bet lielāka nekā līdzplūsmai.

Plūsmas veida izvēle siltuma apmaiņas iekārtās

Ir gadījumi, kad siltumapmainītājos vienai vai abām vidēm nemainās temperatūra vai arī temperatūra mainās abām vidēm. Ja vienai vai abām vidēm nemainās temperatūra, tad nav svarīgi, kāds ir plūsmas virziens, jo tas neietekmē siltuma pāreju un siltumnesēja patēriņu, ja temperatūra mainās abām vidēm, tad jāizvēlas plūsmas veids, kurš nodrošina vislielāko vidējo temperatūru starpību (samazina nepieciešamo sildvirsmu), mazāko siltumnesēja patēriņu, zemāku maksimālo sienas temperatūru un lielāko siltumpārejas koeficientu.

Pretplūsmas iekārtās vides temperatūru iespējams mainīt (sildot vai dzesējot) ievērojami plašākā intervālā nekā līdzplūsmas siltumapmainītājos. Pretplūsmas iekārtā salīdzinājuma ar vienādas sildvirsmas līdzplūsmas iekārtu ir mazāks siltumnesēja (aukstumnesēja) patēriņš, jo tas tiek pilnīgāk izmantots. Pretplūsmas aparātos pilnīgāk izmantojot siltumnesēju, samazinās vidējā temperatūru starpība Δt_{vid} , tādēļ no pretplūsmas un līdzplūsmas iekārtām ar vienādu ražīgumu lielāka sildvirsmas ir pretplūsmas iekārtām.

Nelielais siltumnesēja patēriņš pretplūsmas iekārtās dod lielāku ekonomisko efektu, neraugoties uz izdevumiem, kas saistīti ar lielākas iekārtas iegādi un ekspluatāciju. Tādēļ rūpniecībā plašāk lieto pretplūsmas iekārtas.

Līdzplūsmas iekārtās maksimālā virsmas temperatūra ir zemāka nekā pretplūsmas iekārtās, tādēļ, ja vienai videi ir ļoti augsta temperatūra, termiskās deformācijas novēršanai lieto līdzplūsmu. Līdzplūsmas iekārtas izmanto arī termiski labilu vielu sildīšanai, lai pasargātu tās no sienas augstās temperatūras iedarbības.

Jauktajai plūsmai, izveidojot vairākas virzienu maiņas, siltumpārejas koeficients palielinās. Siltumapmainītājos, sadalot sekcijās cauruļu un starpcauruļu telpu, iespējams paaugstināt Δt_{vid} , līdz tā tuvojas pretplūsmas vidējai temperatūru starpībai. Jaukto plūsmu un šķērsplūsmu siltuma apmaiņas iekārtās lieto tad, ja konstruktīvi nav iespējams nodrošināt pretplūsmu.

Lai samazinātu siltuma zudumus apkārtējā vidē, jāsamazina siltuma pāreja no aparāta (caurules) iekšienes (kur ir augstāka temperatūra) uz apkārtējo vidi. Tas panākams, palielinot termisko pretestību, ko praktiski realizē, apliekot ap aparāta (caurules) ārējo virsmu siltumizolācijas materiālu kārtu. Izolējot virsmas, kurām ir augsta temperatūra, izolācijas slāni izveido no vairākām dažādu materiālu kārtām.

4. KURINĀMAIS

Kurināmais ir oglekļa savienojumi, kuri sadegot izdala lietderīgi izmantojamu siltumu. Šai prasībai atbilst organiskais kurināmais, kas dabā veidojas no augu un sīkbūtņu atliekām. Enerģētikā izmanto arī kodoldegvielu, kas siltuma enerģiju atbrīvo atomu kodolu reakcijās. Reaktīvajos dzinējos par kurināmo izmanto arī metālus (Al, Mg, Li, Be u.c.).

4.1. Kurināmā veidi un to iedalījums

1. tab.

Kurināmā veidi pēc agregātstāvokļa	Pēc izcelšanās	
	Dabīgie	mākslīgie
Cietais	Malka Kūdra Degslāneklis Brūnogles Akmeņogles Antracīts	Kūdras briketes Brūnogļu briketes Kokss
Šķidrās	Nafta	Mazuts
Gāzveida	Dabas gāze	Ģenerātoru gāze Koksa gāze Domnu gāze

4.2. Kurināmā sastāva veidošanās

Gaistošās vielas

Ūdens
tvaiki

Gaistošās, gaistošās
vielas

Cietais kokss

Deģošā koksa daļa

Nedeģošā koksa daļa

W	O + N	C	S_g S_c	A
Mitrumi	Skābeklis un slāpekļi	Ogleklis	Sērs	Pelni

Organiskā masa

Deģošā masa

Sausais kurināmais

Darba kurināmais

4.3. Kurināmā īpašības

Kurināma sastāvs. Jebkura cietā un šķidrā kurināmā sastāvu var izteikt procentos kā oglekļa (C), ūdeņraža (H), skābekļa (O), slāpekļa (N), sēra (S), nedegošo minerālvielu (A) un ūdens (mitruma) (W) summu:

$$C^d + H^d + O^d + N^d + S^d + A^d + W^d = 100\%.$$

Indekss d norāda, ka kurināmā sastāvs attiecas uz *darba kurināmo*, t.i., uz kurināmo, kādu to saņem patērētājs.

Darba kurināmā sastāvs vienai un tai pašai kurināmā šķirnei var stipri mainīties, jo atkarībā no ieguves veida, transporta un uzglabāšanas apstākļiem var svārstīties A^d un W^d saturs.

Ja no kurināmā izkaltē visu mitrumu, tad iegūst *sauso masu*:

$$C^d + H^d + O^d + N^d + S^d + A^d + 100 \text{ \%}.$$

Sērs kurināmā sastāvā ietilpst trijos veidos: 1) organiskais sērs S^o , kurš saistīts ar pārējiem kurināmā elementiem organisku savienojumu veidā; 2) pirīta jeb kolčedāna sērs S^p – pirīta (kolčedāna) (FeS_2) veidā; 3) sulfātsērs S^s – sērskābes sāļu veidā (ģipsis, $FeSO_4$ u.c.).

Sulfāti nedeg, deg tikai organiskais un pirīta sērs, kuri abi kopā veido degošo jeb gaistošo S^g . Kopējais sēra saturs kurināmajā:

$$S = S^o + S^p + S^s + S^g + S^s.$$

Sēra klātbūtne visai nevēlama, jo tā sadegšanas produkti ir kaitīgi dzīvjiem organismiem un augu valstij. Arī katlu sildvirsmas un apkārtējo ēku skārda jūmti sēra savienojumu ietekmē pakļauti straujai korozijai.

Ļoti bieži lieto kurināmā degošās masas saturu:

$$C^{deg} + H^{deg} + O^{deg} + N^{deg} + S^{g deg} = 100\%.$$

Degošās masas sastāvā nosacīti ietilpināts arī O un N.

Kurināmā mitrums. Izšķir relatīvo un absolūto kurināmā mitrumu. Relatīvais mitrums ir ūdens daudzums kurināmajā, kurš izteikts procentos no kopējās kurināmā masas. Kurināmā absolūtais mitrums ir ūdens daudzums, kurš izteikts procentos no tā absolūti sausās masas. Praksē biežāk lieto relatīvā mitruma jēdzienu.

Cietais kurināmais pēc ieguves izkalst – zaudē daļu no sava mitruma. Kalšana noris līdz tam brīdim, kamēr iestājas līdzsvars starp kurināmā ūdens tvaika un apkārtējā gaisā esošā tvaika parciālajiem spiedieniem. Šādu kurināmo sauc par gaisa sausu. Praksē kurināmais parasti ir mitrāks par gaisa sauso stāvokli. Kurināmā mitrumu, ar kādu tas nonāk pie patērētāja (darba kurināmais), sauc par *darba kurināmā mitrumu* W^d .

Dažu kurināmo vidējās W^d vērtības dotas tabulās. Turpat uzrādītas arī darba kurināmā zemākā sadegšanas siltuma Q_z^d aptuvenās vērtības un gaistošo vielu saturs V^{deg} (attiecināts uz degošo masu).

Mitruma pazemina kurināmā kvalitāti, jo samazina sadegšanas siltumu, apgrūtina aizdedzināšanu, palielina ūdens tvaika saturu dūmgāzēs, kas savukārt palielina siltuma zudumus ar aizplūstošām dūmgāzēm. Tāpēc mitrumu kopā ar pelniem uzskata par *kurināmā balastu*.

4.4. Dažu kurināmo raksturojumi

Kurināmā pelnainība. Kurināmajam sadegot, pāri paliek pelni – kurināmā sastāvā esošās un ieguves laikā piejauktās minerālvielas. Parasti pelnainību izsaka procentos no kurināmā absolūti sausās masas. Liela pelnainība nav vēlama, jo jātērē līdzekļi pelnu transportam un aizvākšanai no kurtuves. Pelniem nosēžoties uz sildvirsmām, samazinās siltuma pāreja, aizsērē dūmvadi un dūmsūcēji. Kad dūmgāzu ātrumi ir lieli, pastiprināti dilst sildvirsmas.

Ja pelniem zema kušanas temperatūra, tad saskarē ar vēsākām virsmām izkusušie pelni sacietē un pārklāj sildvirsmas un ārdū spraugas ar izdedžu kārtu, kura pavājina siltuma apmaiņu un palēnina degšanu. No šī viedokļa labāk, ja pelnu kušanas temperatūra ir augstāka.

Brūnoglū un akmeņoglū pelnainība svārstās no 1% līdz 40% un vairāk. Degakmens pelnu saturs ir 50...80 %, kūdras – 2...30%, bet koksnes – ap 1%. Mazuts satur līdz 0,2 5, retāk – līdz 1 % pelnu.

Kurināmā siltumspēja (sadedzšanas siltums). Par kurināmā siltumspēju sauc siltuma daudzumu, kurš izdalās pilnīgi sadegot 1 kg cietā vai šķidrā kurināmā, vai 1 m^3 gāzveida kurināmā. Izšķir augstāko un zemāko siltumspēju. Par augstāko siltumspēju Q^a sauc siltuma daudzumu (kJ), kas atbrīvojas, pilnīgi sadegot 1 kg cietam vai šķidram kurināmajam, vai 1 m^3 gāzveida kurināmā. Zemāko kurināmā siltumspēju Q_z iegūst, atņemot no augstākās siltumspējas kurināmajā esošā mitruma iztvaicēšanai patērēto siltumu. Cieto kurināmo objektīvāk raksturo tieši zemākā siltumspēja, jo iztvaicētais mitrums kurtuvē uzņemto siltumu neatdod. Ūdens tvaiks ar dūmgāzēm parasti tiek izvadīts atmosfērā.

Zinot darba kurināmā sastāvu, cietiem un šķidriem kurināmajiem var aprēķināt Q_a^d un Q_z^d pēc D. Mendelējeva formulas:

$$Q_a^d = 339C^d + 1256H^d - 109(O^d - S_g^d)$$

$$\text{un } Q_z^d = Q_a^d - Q_w^d$$

Ievietojot Q_a^d un Q_w^d vērtības no formulām 3.1 un 3.2., iegūst

$$Q_z^d = 339 C^d + 1031 H^d - (O^d - S_z^d) - 25W^d.$$

Šajās izteiksmēs kurināmā sastāvs C^d , H^d , O^d utt. jāņem procentos.

Gaistošās vielas. Karsējot cieto kurināmo bez skābekļa piekļūšanas, tas daļēji gazificējas – no tā izdalās gaistošās vielas; skābeklis, slāpeklis, ūdens tvaiks, gaistošais sērs, kā arī dažādi oglekļa un ūdeņraža savienojumi. Cieto pārpalikumu sauc par koksu.

Gaistošo vielu daudzums un sastāvs stipri ietekmē kurināmā uzliesmošanas un degšanas apstākļus. Tas nosaka arī kurtuves tipa izvēli.

Kurināmo ar lielu gaistošo vielu saturu sauc par garliesmainu, bet ar mazu – par liesu kurināmo.

Gāzveida kurināmā īpašības . Tas sastāv no degošām un nedegošām gāzēm, satur arī neredzamu ūdens tvaiku un dažreiz – putekļus.

Kurināmā aizdegšanās temperatūra ir tā zemākā temperatūra pie kuras tas aizdegas pats, bez ārējas palīdzības aizdegties.

Nosacītais kurināmais. Dažādu kurināmā veidu un šķirņu salīdzināšanai lieto *nosacītā kurināmā* jēdzienu. Tas ir kurināmais ar zemāko siltumspēju (sadedzšanas siltumu) $Q_z^d = 29310$ kJ/ kg. Tas aptuveni atbilst Doņecas baseina labu koksa ogļu siltumspējai. Tāpēc nosacīto kurināmo sauc arī par akmeņogļu ekvivalentu.

Atsevišķu kurināmo pārreķināšanai uz nosacīto kurināmo un otrādi izmanto koeficientu

$$X = Q_z^d / 29310,$$

Ja, piemēram, kūdras Q_z^d ir 9000 kJ/kg, tad vienai tonnai kūdras atbilst $9000 / 29310 = 0,307$ t nosacītā kurināmā.

4.5. Kurināmā veidu apraksts

Latvijā par kurināmo izmanto malku, koksnes pārpalikumus, kūdru, akmeņogles, antracītu, neredzamu brūnogles, degakmeni, mazutu, dabasgāzi un sašķidrināto gāzi.

Malka un koksnes pārpalikumi. Visu koku sugu organiskās masas sastāvs ir apmēram vienāds. Tāpēc arī organiskās masas sadegšanas siltums (siltumspēja) dažādām koku sugām maz atšķiras. Aptuveni koksnei $Q_z^d = 19100$ kJ/kg. Bet, tā kā koksnes daudzumu parasti izsaka m^3 un atsevišķām koku sugām koksnes blīvums ir dažāds, tad atšķirīgs ir arī $1 m^3$ sadegšanas siltums. Sausa koksne viegli uzliesmo, dod maz pelnu, nesatur sēru.

Kūdra ir visjaunākais izrakteņis. Dabiskā stāvoklī kūdras masa purvos satur ap 90% ūdens. Pēc ieguves to žāvē. Dedzināmo kūdru iegūst ar frēzēšanas paņēmienu (frēzkūdra) un ar ekskavatoriem (gabalkūdra).

Frēzkūdru iegūst pulverveidīgu, tās mitrums svārstās no 40% līdz 53%. Frēzkūdru nedrīkst ilgi glabāt, tai ir tieksme uz pašzaudēšanu. Sadedzina kamerkurtuvēs vai izmanto kūdras briekšu

ražošanai. Pirms briketēšanas frēzkūdrū mākslīgi izžāvē līdz $W^d = 10..15\%$. Kūdras briketes ir vidēji labs kurināmais ar samērā augstu sadegšanas siltumu – 17000...19000 kJ/kg . Gabalkūdrū ražo ķieģelīšu veidā, mitruma saturs 35... 50 %.

Ogles. Izšķir trīs ogļu tipus: brūnogles, akmeņogles un antracītu. Dažreiz uzrāda ceturto tipu – pusantracītu, kurš uzskatāms par pārejas tipu starp akmeņoglēm un antracītu.

Par brūnoglēm uzskata ogles ar $Q_z^d < 23900$ kJ/kg (darba kurināmā bez pelniem zemākais sadegšanas siltums). Brūnogļu kvalitāte ir zemāka, jo tām ir lielāks mitrums un pelnainība.

Pie akmeņoglēm pieskaita ogles ar $Q_z^d > 23900$ kJ/kg un $V^{deg} > 9\%$. Atkarībā no gaistošo vielu satura un koksa īpašībām akmeņogles iedala markās. Pēc lieluma tās iedala klasēs. Antracītam klases apzīmējumam priekšā liek burtu A. Pie pusantracīta un antracīta pieskaita ogles ar $V_{deg} < 9\%$.

Degakmens. To iegūst Igaunijā, kur ir lieli tā krājumi. Degakmens satur daudz pelnu (pat līdz 60...80 %), un tā sadegšanas siltums ir samērā mazs. Degakmens ir ļoti vērtīgs izejmateriāls termiskajai un ķīmiskajai pārstrādei. No tā iegūst deggāzi, degakmens eļļu un citas vērtīgas vielas.

Mazuts. Pārstrādājot naftu (benzīna, petrolejas, dīzeļdegvielu un dažādu eļļu ieguvei), pāri paliek mazuts – tumšs, viskozs šķidrums. Tas ir augstvērtīgs kurināmais, to ērti dedzināt tvaika katlu kurtuvēs. Daļu mazuta izmanto termiskajai pārstrādei benzīna un dīzeļdegvielu ieguvē (krekinga process).

Sadzīves krāšņu kurināmais. Tas ir šķidrās kurināmais, ko iegūst naftas pārtvaices un citos naftas pārstrādes procesos, kondensējot dažādas naftas frakcijas. To izmanto individuālo ēku apkurei un dažādos komunālo un sadzīves pakalpojumu uzņēmumos.

Gāze. Gāzveida kurināmais vispār ir vislabākais un ekonomiskākais. Latvija saņem dabasgāzi pa cauruļvadiem. Gāzi izmanto komunālajām vajadzībām, rūpniecības uzņēmumos tehnoloģiskajām vajadzībām un arī kā enerģētisko kurināmo. Gāze sadeg bez pelniem un dūmiem, tāpēc mazāk piesārņo atmosfēru.

Bez dabasgāzes izmanto arī mākslīgi ražotas deggāzes. **Naftas rūpniecības gāzes** iegūst kā blakusproduktu naftas pārstrādes rūpnīcās un to sastāvs atkarīgs no naftas pārstrādes veida. **Koksa gāzi** iegūst, karsējot sasmalcinātas akmeņogles bez gaisa pievadīšanas. Ogles daļēji gazificējas – no tām izdalās gaistošās vielas – koksa gāze. Pāri paliek **kokss**, kuru izmanto metalurģijā. **Ģeneratoru gāzes** iegūst, cietos kurināmos gazificējot speciālās iekārtās – gāzģeneratoros.

Mākslīgi ražoto gāzu sastāvā ir daudz H_2 , CO un N_2 . Koksa un degakmens gāzes satur 22...24% metāna. **Sašķidrīnātā gāze** sastāv galvenokārt no propāna un butāna, kuri viegli sašķidrīnāmi pie samērā zema spiediena. Šķidro gāzi pārvadā balonos vai cisternās zem 1.0..1.8 Mpa spiediena. To plaši lieto vietās, kur nav pievadīti gāzes vadi.

4.6. Degšanas teorija

Kurināmā elementu strauju oksidēšanos sauc par degšanu. Degšanas rezultātā uz kurināmā ķīmiskās enerģijas rēķina izdalās siltums. Parasto kurināmo sastāvā degošie elementi ir ogleklis (C), ūdeņradis (H₂) un arī sērs (S), kura piejaukums kurināmā sastāvā ir samērā neliels.

Par oksidētāju izmanto skābekli, visbiežāk – gaisu, kurš satur skābekli 21% pēc tilpuma (vai 23,2 % pēc masas). Dažreiz izdevīgāk lietot tīru skābekli, piemēram, metalurģijā u.c.

Degšanas reakcijas noris tikai tad, ja degošā elementa un oksidētāja molekulas savstarpēji saduras. Procesam jānoris ātri, tāpēc aktīvajām molekulām jādod iespēja sajaukties un ātri pārvietoties. Ne cietās, ne arī šķidrās vielās šādu apstākļu nav, tāpēc vielas deg galvenokārt tikai gāzveida stāvoklī.

Cietas vielas pirms degšanas gazificējas, radot tvaikus un gāzes, kuras tad savienojas ar oksidētāju, t.i., sadeg. Tāpat arī šķidrās degvielas vispirms iztvaiko un tikai tad deg.

Ja degošā viela un oksidētājs ir gāzveida agregātstāvoklī, tad degšana ir *homogēna*- reaģējošās vielas nav atdalītas ar robežvirsmu.

Ja degšanas reakcijā piedalās vielas dažādos agregātstāvokļos (fāzēs), piemēram, ciets kurināmais vai šķidra degviela un gāzveida skābeklis, tad degšana ir heterogēna – tā noris uz robežvirsmas, kas atdala vienu fāzi no otras.

Degšana, tāpat kā jebkura ķīmiska reakcija, pakļaujas ķīmisko reakciju kinētikas likumiem, kuri aplūko ķīmisko reakciju ātrumu un tā atkarību no dažādiem faktoriem.

Degšanas kā ķīmiskas reakcijas ātrumu ietekmē reaģējošo vielu koncentrācija, temperatūra un spiediens. Heterogēnas degšanas gadījumā reakcijas ātrumu ietekmē arī degošās vielas virsmas laukums.

5. KURTUVES

5.1. Kurtuvju iedalījums

Par kurtuvi sauc to katla (krāsns) daļu, kurā notiek kurināmā sadedzināšana, t.i. kurināmā ķīmiskās enerģijas pārvēršana siltumā.

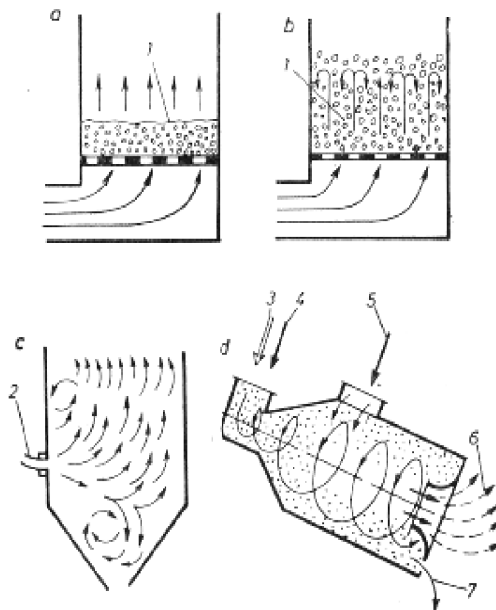
Kurināmo var sadedzināt *slānī* vai *plīvojošā stāvoklī*. No šī viedokļa izšķir :

- ārdū kurtuves;
- kamerkurtuves;

Ārdū kurtuvēs var sadedzināt cieto kurināmo, bet kamerkurtuvēs – putekļveida kurināmo, šķidro, vai gāzveida kurināmo.

Ārdū kurtuves ir nelielas vai vidējas jaudas, bet kamerkurtuves izmanto arī lieljaudas katlu agregātiem. Kurināmā sadegšanai nepieciešams samērā daudz gaisa, tāpēc praksē kurtuves klasificē pēc (12. att.) aerodinamiskajām pazīmēm:

1. Ārdū kurtuves, kurās kurināmo var sadedzināt blīvā „filtrējošā” un verdošā slānī;
2. Liesmas lāpas kurtuves;
3. Virpuļkurtuves vai ciklonkurtuves.



4.

5.

12.attēls. Kurtuvju iedalījums pēc aerodinamiskajām pazīmēm

a– kurtuve ar blīvu, filtrējošu kurināmā slāni; b - „kurtuve ar verdošu” slāni; c – liesmas lāpas kurtuve; d – ciklonkurtuve; 1 – kurināmā slānis; 2 – deglis; 3 – drupināts kurināmais; 4 – primārais gaiss; 5 – sekundārais gaiss; 6 – dūmgāzes; 7 – izkusušie izdedži.

Ārdu kurtuves ir dažādas un tās klasificē pēc:

- kurtuves mehanizācijas pakāpes;
- kurināmā pārvietošanās veida;
- Kurtuves novietojuma attiecībā pret tvaika katlu ,u.c.

Atkarībā no mehanizācijas pakāpes izšķir ar rokām apkalpojamās (nemehanizētās), daļēji mehanizētas, kurās mehanizēta kurināmā padeve, gan degošā slāņa irdināšana, gan arī pelnu un izdedžu aizvākšana (ķēžu ārdū kurtuves). Ārdū kurtuves lieto katlu agregātiem, kuru jauda nepārsniedz 35t/h. Lielākas jaudas katliem izdevīgākas ir kamerkurtuves.

5.2. Kurtuves slodzes. Ekrāni

Ārdū kurtuves darba intensitāti raksturo *ārdū laukuma termiskā slodze* (kW/m^2):

$$q_R = B Q_z^d / 3600 R,$$

kur B- sadedzināmā kurināmā daudzums (kg/h);

R- ārdū aktīvās daļas (virs kuras noris degšana) laukums (m^2).

Sadedzinot mitrus un pelnainus kurināmos ar lielu daudzumu smalkumu, q_R vērtības izvēlas mazākas.

Kamerkurtuves un arī ārdū kurtuves *tilpuma termisko slodzi* raksturo lielums q_V

$$q_V = B Q_z^d / 3600 \cdot V_k \text{ (kW/m}^3\text{)},$$

kur V_k – kurtuves telpas tilpums (m^3);

Optimālo q_V vērtību izvēlas atkarībā no kurināmā veida un kurtuves tipa. Lielākai q_V vērtībai atbilst augstāka no kurtuves aizplūstošo dūmgāzu temperatūra, kura nedrīkst pārsniegt pelnu kušanas temperatūru. Pretējā gadījumā šķidrie pelni nosēdīsies uz katla sildvirsmām vai ārdū spraugās. Tāpēc no kurtuves aizplūstošo dūmgāzu temperatūru izvēlas ne augstāku par 1100 līdz 1200 °C.

Lai samazinātu dūmgāzu temperatūru, kurtuves sienas pārklāj ar radiācijas sildvirsmām-ekrāniem. Tie samazina šķidro pelnu nogulsnešanas iespējas, pasargā apmūrējumu no augstām temperatūrām un vienlaikus palielina katla kopējo sildvirsmu.

Ekrānus veido 40...80 mm diametra caurules, kurās cirkulē ūdens un ūdens–tvaika maisījums. Dažreiz caurulēm garenvirzienā piemetina ribas.

5.3. Siltuma zudumi kurtuvēs

1. Siltuma zudumus kurtuvēs rada kurināmā ķīmiski nepilnīgā sadegšana un mehāniski nepilnīga sadegšana. Bez tam daļu no apkārtējai videi atdotā siltuma attiecina arī uz kurtuvi.

2. Ķīmiski nepilnīgās sadegšanas zudumi rodas tad, ja daļa kurināmā degošo elementu nespēj līdz galam oksidēties vai arī augsto temperatūru ietekmē sadegšanas produkti daļēji disociējas starpproduktos. Rezultātā dūmgāzes var saturēt CO, H₂ un CH₄. Šo zudumu lielums ir atkarīgs no gaisa patēriņa koeficienta, kurtuves temperatūras un gaisa pievadīšanas apstākļiem.

3. Atsevišķas kurināmā daļiņas nespēj sadegt, jo ārdū kurtuvēs tās var izkrist caur ārdū vai daļēji pārklāties ar izkusušajiem pelniem. Kamerkurtuvēs kurināmā daļiņas var nesadegušas izkrist no liesmas lāpas vai pārklāties ar izkusušo pelnu kārtiņu. Daži kurināmie, piem., garliesmu ogle, degakmens, mazuts u.c. var izdalīt oglekli sodrēju veidā.

Tie ir *mehāniski nepilnīgas sadegšanas zudumi*. To daudzums ir atkarīgs no kurināmā īpašībām, kurtuves tipa un katla jaudas.

4. Apkārtējai videi atdotais siltums ir siltuma daudzums, ko starošanas un konvekcijas veidā katls atdod apkārtējai videi.

5. Daļa siltuma aizplūst apkārtējā vidē ar dūmgāzēm.

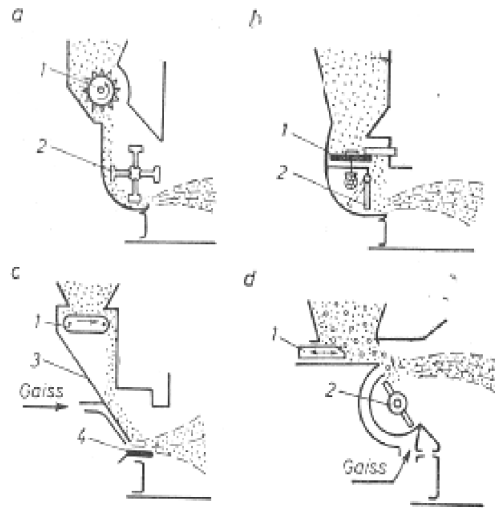
6. Ar izdedžiem un pelniem zaudētais siltums.

5.4. Kurtuves cietā kurināmā sadedzināšanai

Nemehanizētas horizontālo ārdū kurtuves. Tās ir vienkāršas un lētas. Kurtuves ārdū sastāv no ārdstieņiem, starp kuriem ir tik platas spraugas, lai nebirtu cauri kurināmā smalkumi.

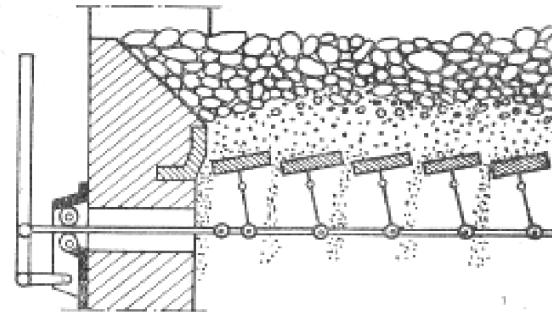
Ārdū spraugu veidotā laukuma attiecību pret visu ārdū laukumu (izteiktu procentos) sauc par ārdū brīvo laukumu. Gabalkūdras, malkas un kurināmajam ar nelielu smalkumu saturu šis ārdū brīvais laukums ir 15 līdz 40%, bet antracīta, akmeņogļu un brūnogļu sadedzināšanai tas ir 10 līdz 18 %.

Daļēji mehanizētas ārdū kurtuves. Lai atvieglotu kurinātāja darbu, horizontālos ārdūs apgādā ar dažāda tipa kurināmā iesviedējiem.



13.att. Kurināmā iesviedēju shēmas

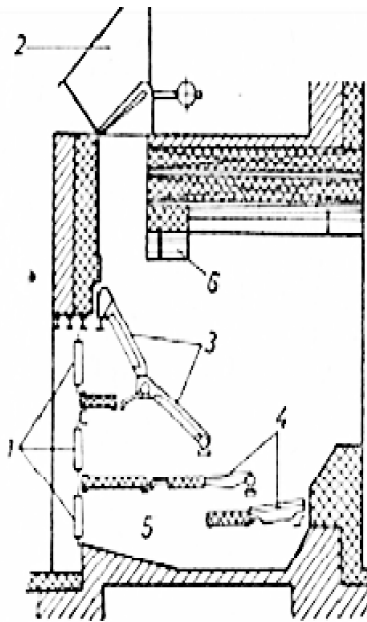
Mehāniskais rotējošais iesviedējs (13. att. a) griežas ar ātrumu 500...800 apgr. / min un no dozatora saņemto kurināmo iesviež kurtuvē. Pneimomehāniskie iesviedēji kurināmo izšķaida vienmērīgāk. Sīkie putekļi sadeg plīvojošā stāvoklī. Šī tipa iesviedējus lieto visplašāk. Lai likvidētu roku darbu ārdū tīrīšanā, lieto dažādas konstrukcijas grozāmus, šūpojošus un bīdošus ārdus, kuri irdina saķepušo izdedžu kārtu un sekmē to izkrišanu pelnu telpā.. Šie ārdi ļauj izmantot arī mehāniskos iesviedējus.



14. att. Šūpojošie ārdi

Šahtas kurtuves. Tās pieskaita pie daļēji mehanizēto kurtuvju grupas. Ar tām apgādā mazjaudas katlus, kad jāsadedzina mitra gabalkūdra, malka vai koksnes pārpalikumi.

Šahtas kurtuve ar slīpiem ārdiem parādīta 15. attēlā. Šahtā iebērtais kurināmais slīd pa slīpajiem ārdiem uz leju, pa ceļam izkalst un aizdegas. Degšanas process noris galvenokārt uz horizontālajiem ārdiem. Ārdū balsti jādzesē, tāpēc tos izgatavo no caurulēm, kurās cirkulē ūdens. Gaisu padod atsevišķi augšējai, vidējai un apakšējai ārdū zonai.



15. att. Šahtas kurtuve ar slīpiem ārdiem.

Ja kurināmais satur daudz smalkumu (zāģu skaidas, gabalkūdrai piejaukta frēzkūdra), tad slīpo ārdū vietā iekārto kāpšļu ārdus. Kurināmais slīd uz leju, izkalst un aizdegas. Pelnu telpā tas nesadedzis neizkrīt.

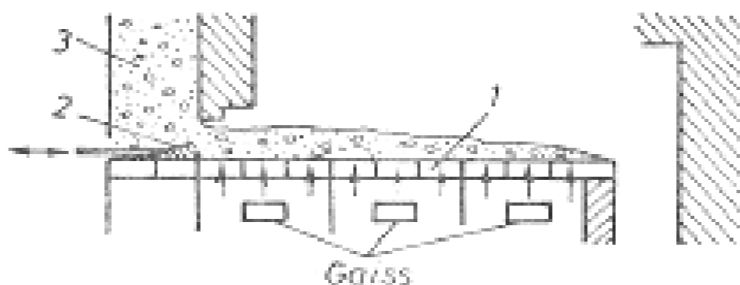
Šahtas kurtuves ar slīpiem vai kāpšļu ārdiem parasti neizmanto antracīta un akmeņogļu dedzināšanai, jo šīs kurtuves grūti tīrāmas.

Mehanizētās kurtuves

Cietam kurināmajam visplašāk izmanto kurtuves ar rušināšanas prizmu un ķēžu ārdū kurtuves.

Kurtuves ar rušināšanas prizmu

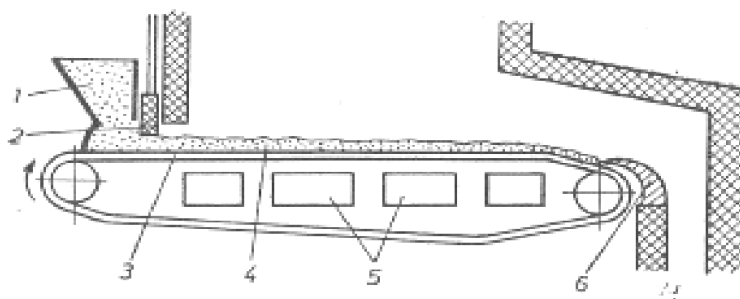
Tās ir vieglas, patērē maz enerģijas. Šādai kurtuvei ir nekustīgi horizontālie ārdi, pa kuriem garenvirzienā pārvietojas rušināšanas prizma. Čuguna prizmas garums vienāds ar ārdū platumu. Prizmu pārvieto ķēde, kura ievietota šaurā ārdū spraugā. Prizmas šķērsriezums – dažādmalu trīsstūris. Pārvietojoties uz ārdū galu, prizma ar savu stāvāko malu padod kurināmo no kurināmā tvertnes apakšas uz ārdiem, irdina un pārvieto izdedžus. Atpakaļceļā tā tikai irdina kurināmā slāni, jo izdedži un kurināmais viegli pārslīd prizmas slīpajai malai.



16. att. Kurtuves ar rušināšanas prizmu

Ķēžu ārdū kurtuves

Ķēžu ārdū būtībā ir plākšņu konveijers. Ārdū plākšnes piestiprinātas pie divām paralēlām ķēdēm, kuras piedzen zvaigznītes.



17. att. Ķēžu ārdū kurtuves

Ārdū lenti piedzen elektrodzinējs, un tā lēni pārvieto kurināmo. Lentē ātrumu var izmainīt. Izdedžus nodiem noņem ārdū tīrītājs, un tie iekrīt izdedžu šaftā vai tieši vagonetē.

Ķēžu ārdū raksturīgs tas, ka kurināmā degšanas atsevišķās stadijas noris noteiktās zonās. Tāpēc katrai zonai karsto gaisu pievada atsevišķi.

Uz ķēžu ārdū var sadedzināt jebkuru cieto kurināmo, kam ne pārāk liela pelnainība un mitrums.

Dažkārt ķēžu ārdū pierīko pneimomehāniskos iesviedējus. Tad ārdū kustības virziens ir pretējs – tie slīd uz katla priekšpusi.

Kurināmā sadedzināšana verdošā slānī

Beramu vielu verdošā slānī intensificējas siltuma atdeve. Šo principu izmanto arī kurināmā sadedzināšanai. Verdošā slānī sadedzina cietā kurināmā drupatas, kuru izmēri ir aptuveni 20 mm. Kurtuves ar verdošo slāni izmanto kurināmā gazificēšanai, dažādās tehnoloģiskajās krāsnīs, kā arī tvaika katla agregātos.

Verdošā slānī var sadedzināt arī gāzveida un šķidro kurināmo. Tādā gadījumā virs ārdiem izveido inerta materiāla (smilšu, ķieģeļa drupatu u.c.) verdošo slāni, kurā sadedzina šķidro vai gāzveida kurināmo. Šādā verdošā slānī var izvietot katla agregātu sildvirsmas..

Verdošā slānī var sadedzināt arī zemas kvalitātes kurināmo. Priekšrocības:

- vienkāršojas kurināmā sagatavošana;
- samazinās kaitīgo vielu izplūde atmosfērā;
- ievērojami samazinās tvaika agregāta izmēri;
 - ievērojami samazinās katlu mājas izmēri.

Kurināmā putekļu sagatavošana

Cietā kurināmā degšana ir heterogēna, t.i., degšanas reakcija noris uz cietās daļiņas virsmas. Lai degšanu intensificētu, jācenšas palielināt reaģējošo virsmu. To panāk ar kurināmā gabalu sasmalcināšanu. Ja, piem., 20 mm lielu ogles gabalu sasmalcina 40 mm lielās daļiņās, tad iegūst 500 reižu lielāku virsmu.

Sauss kurināmais vieglāk sasmalcināms, un tas vieglāk plīvo gaisā. Tāpēc vienlaikus ar sasmalcināšanu kurināmo žāvē, pūšot dzirnavās karstu gaisu vai gaisu, kas sajaukts ar dūmgāzēm.

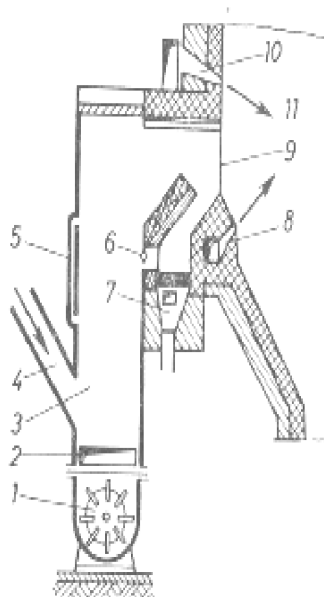
Kurināmie ar lielu gaistošo vielu saturu var būt nedaudz rupjāki.

Šahtas dzirnavu kurtuves

Šahtas dzirnavu kurtuvēs sadedzina viegli sasmalcināmus kurināmos ar samērā lielu gaistošo vielu saturu (frēzkūdrū, brūnogles, degakmeni). Tā ir parasta kamerkurtuve, kuru ar kurināmā putekļiem apgādā divas vai vairākas šahtu dzirnavas (18. att.)

Rupji sadrupinātu kurināmo padod pa slīpu cauruli 4 uz dzirnavām 1. Pa gaisa vadu 2 padod karstu primāro gaisu-60-70% kopējā daudzuma. Dzirnavās kurināmo sasmalcina un izzāvē. Sīkās, sausās daļiņas ar gaisa plūsmu pa šahtu 3 aizlido caur lūku 9 uz kurtuves kameru 11. rupjākās daļiņas atkrīt atpakaļ dzirnavās un tiek sasmalcinātas sīkāk. Maluma smalkumu regulē gaisa plūsmas ātrums šahtā, kuru savukārt regulē ar aizvaru 5. Sekundāro gaisu kurtuvē padod caur sprauslām 8 un 10.

Pēdējā laikā šahtas dzirnavu kurtuvēs lūku un sekundārā gaisa sprauslu vietā lieto turbulentos putekļu degļus.



18. att. Šahtas dzirnavu kurtuve

5.5. Kurtuves gāzveida kurināmajam

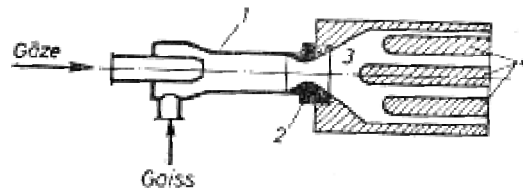
Gāzveida kurināmā kurtuvju konstrukcija ir vienkārša, tās ir ērtas ekspluatācijā, jo nav vajadzīgas kurināmā sagatavošanas un pelnu aizvākšanas iekārtas. Ja paredzēts sadedzināt tikai gāzi vai gāzi kopā ar šķidro kurināmo, tad kurtuves kamera var būt bez piltuves. Ja gāzi sadedzina kopā ar cietā kurināmā putekļiem, tad kurtuves kameras apakšējo daļu izveido piltuvveidīgu.

Gāzi kurtuvē ievada caur degli. Gāzes sajaukšanu ar degšanai nepieciešamo gaisu var izdarīt pirms degļa, deglī vai tieši kurtuves kamerā. No šī viedokļa degļus iedala kinētiskajos, difūzajos un jauktajos degļos.

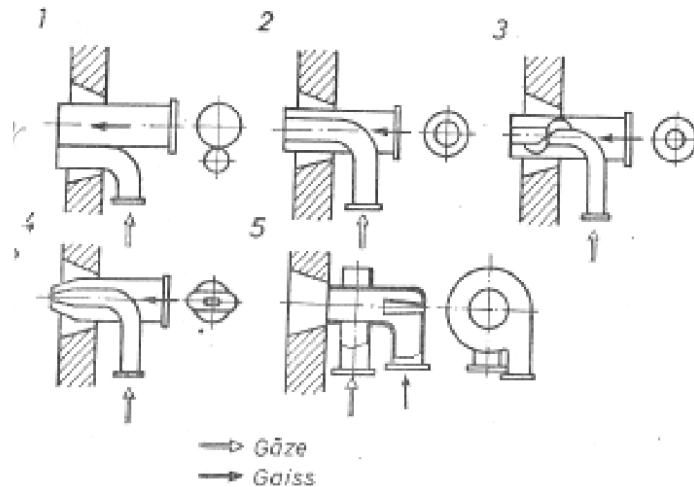
Kinētiskajos degļos gāzi un gaisu sajauc pirms degļa. Maisījumam izplūstot no degļa, tas aizdegas un turpina degt kurtuves kamerā, veidojot liesmas lāpu. Degšanas fronte veido konusa virsmu. Lieljaudas degļos konuss iznāk garš. Tas nav vēlams, tāpēc šo liesmas lāpas konusu sadala vairākos mazākos, laižot gāzes un gaisa maisījumu (degmaisījumu) caur daudzām sīkām spraugām. Šādus degļus sauc par tuneļu vai spraugu degļiem.

Tos lieto mazjaudas katliem, sadedzinot galvenokārt gāzes ar nelielu sadegšanas siltumu, piem. domnu gāzi.

Sadedzinot gāzes ar lielu sadegšanas siltumu, piemēram, dabasgāzi, lieto difūzā vai jauktā tipa degļus, kad gāzi ar gaisu sajauc tieši kurtuvē.



19.att. Tunēļu degļu shēma



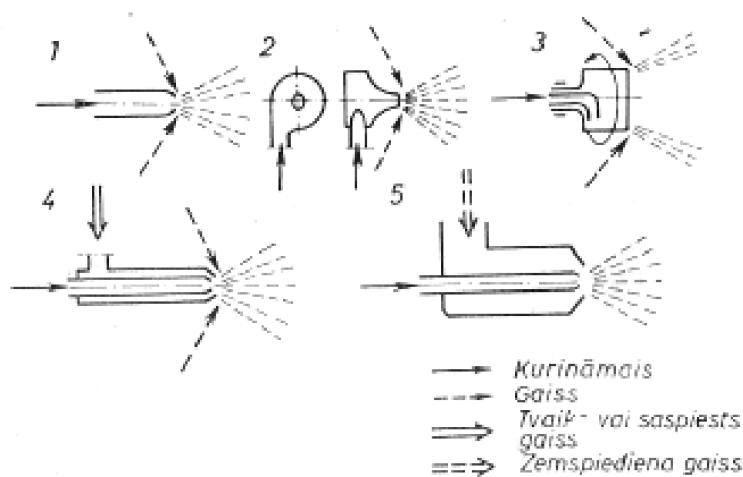
20.att. Difūzā un jauktā tipa degļu shēmas gāzu sadedzināšanai

Parādītas dažas difūzā un jauktā tipa degļu shēmas. Visgarākā liesmas lāpa ir deglim 1, kad gāzi un gaisu kurtuvē ievada atsevišķu strūkļu veidā. Gāzes un gaisa sajaukšanās uzlabojas, ja abas plūsmas izvieto koncentriski (2), ja deglī ierīko turbulizatorus (3) vai arī ja gaisu ievada šaurā leņķī attiecībā pret gāzes strūkļu (4). Visīsākā liesma ir jaukta tipa deglim (5).

5.6. Kurtuves šķidram kurināmajam

No šķidriem kurināmajiem katlu kurtuvēs sadedzina izsmidzinātu mazutu vai destilātu. Izsmidzināšanu veic ar degļiem, kurus iedala trijās grupās:

- mehāniskajos;
- tvaika vai gaisa;
- kombinētos;



21. att. Šķidrā kurināmā degļu shēmas

Mehāniskajos degļos šķidro kurināmo zem spiediena (0,4...3,5 MPa) pievada deglim-sprauslai, kurai ir daudz sīku caurumiņu. Kurināmā strūkliņas, izplūstot pa caurumiņiem, savērpjas un sašķīst sīkos pilieniņos. Mehānisko degļu ražīgums ir no 80 kg līdz 3000 kg mazuta stundā, ja spiediens ir 3,5 MPa.

Nepieciešamo kopējo kurtuvju jaudu sasniedz, uzstādot vairākus degļus.

Mehānisko degļu shēmas parādītas 21. attēlā. Shēmā 4 redzams deglis ar tvaika vai saspiesta gaisa izsmidzināšanu. Ja shēmā 4 attēlotajam deglim mazutu pievada zem spiediena, tad iegūst kombinēto degli. Shēmā 5 dots gaisa deglis bez sekundārā gaisa pievadīšanas. Šeit gaisa spiediens ir samērā zems.

Tvaika degļi nav ekonomiski, jo 1 kg mazuta izsmidzināšanai jāpatērē 0,3...0,6 kg tvaika. Tas samazina katla lietderības koeficientu par 2...3 %.

Lielākajai daļai mazuta šķirņu ir liela viskozitāte, tāpēc, lai mazuts tecētu pa cauruļvadiem un būtu vieglāk izsmidzināms, to iepriekš sasilina līdz 50...90⁰C. Bez tam mazuta cauruļvadus novieto blakus tvaika vadiem zem kopīgas izolācijas. Lai degļi neaizsērotu, mazutu filtrē.

Sadedzinot mazutus ar lielu sēra saturu, kurināmajam piejauc nedaudz smalku dolomītu putekļu, jo dolomīts neitralizē sērskābi un samazina koroziju. Mazutu izmanto arī cieta kurināmā kamerkurtuvju iesildīšanai.

6. KATLU AGREGĀTI

Katlu agregātu konstrukcijas ir ļoti dažādas un tos klasificē pēc vairākām pazīmēm:

- pēc ražotā tvaika parametriem;
- ražīguma un ūdens cirkulācijas veida;
- pēc termiskās jaudas;
- karstā ūdens temperatūras;
- spiediena;
- pēc metāla (čuguns vai tērauds);

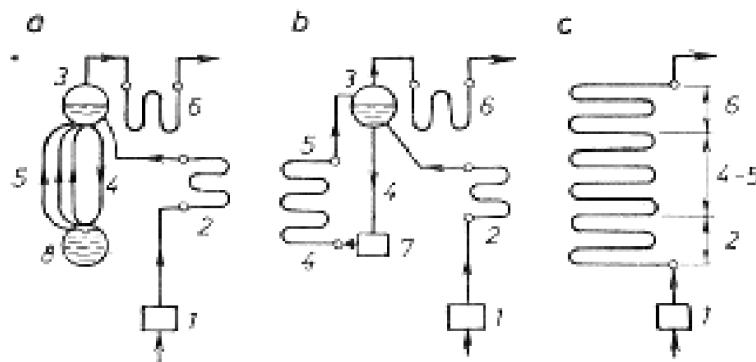
Atkarībā no ūdens cirkulācijas veida katlus iedala divās grupās:

1. Dabiskās cirkulācijas katli:

- liela ūdens tilpuma katli;
- horizontālie ūdenscauruļu katli;
- vertikālo ūdenscauruļu katli;

2. Piespiedcirkulācijas katli:

- ar vairākkārtēju ūdens cirkulāciju;
- caurplūdes (tiešās plūsmas) katli;



22. att. Ūdens un ūdens–tvaika maisījuma cirkulācijas shēmas

Dabiskās cirkulācijas katlos sūknis 1 barošanas ūdeni ievada ekonomāizerā 2 un no turienes katla augšējā boilerā 3. No augšējā boilerā ūdens pa vēsākām caurulēm 4 nonāk apakšējā boilerā 8 vai, ja tāda nav (vienboilera katlos), kolektorā. Iztvaikošanas caurules 5 tiek intensīvi karsētas, un tajās ūdens daļēji iztvaiko, veidodams ūdens un tvaika maisījumu, kura īpatnējā masa

vieglāka par ūdens masu, tāpēc tas ceļas uz augšu un nonāk atkal augšējā boilerā 3. Šeit tvaiku atdala no ūdens, un tas caur tvaika pārkarstētāju 6 aizplūst pie patērētāja. Palielinot spiedienu katlā, dabiskā cirkulācija pasliktinās un virs kritiskā spiediena nemaz nav iespējama, jo tvaika īpatnējā masa ir vienāda ar ūdens īpatnējo masu. Tad nepieciešama piespiedcirkulācija.

Katlos ar vairākkārtēju piespiedcirkulāciju ūdeni augšējā boilerā, tāpat kā dabiskās cirkulācijas gadījumā, ievada barošanas sūkni 1. Tālākā cirkulācija pa iztvaikošanas kontūru 4-5-3 noris, izmantojot īpašu cirkulācijas sūkni 7.

Caurplūdes katlos ekonomaizers 2, iztvaikošanas kontūrs 4-5 un tvaika pārkarstētājs 6 nav atdalīti un veido kopēju kontūru. Ūdens pārvēršas pārkarstētā tvaikā, izplūzdams pa šo kontūru vienu reizi.

Tvaika katli var strādāt arī kā ūdens sildītāji, piemēram, daļēji vai pilnīgi apkures režīmā. Tad tiem piekārto īpašu boileru, kurā tvaiks savu siltumu atdod sildāmajam ūdenim.

Katli rūpnīcu tehnoloģiskā siltuma izmantošanai. Daudzos tehnoloģiskajos procesos bieži atbrīvojas lieli siltuma daudzumi. Aizplūstošā siltuma izmantošanai būvē īpašus katlus, kurus uzstāda aiz dažādām karsēšanas, apdedzināšanas, metāla kausēšanas krāsnīm un citām iekārtām. Par siltuma avotu noder karstās gāzes un citi siltumnesēji, kas rodas tehnoloģiskajos procesos. Šos katlus sauc arī par utilizācijas katliem. Tiem ir samērā vienkārša konstrukcija, jo nav vajadzīga kurtuve un līdz ar to kurināmā sagatavošanas un padošanas iekārta. Katlu ražīgums ir no 1 t līdz 65 t tvaika stundā, tvaika spiediens ir 0,173...4,6 MPa, tvaiks piesātināts vai pārkarstēts līdz 250..500 °C.

Katlu agregātu palīgiekārtas

Ekonomaizeri, t.i. siltumapmaiņas aparāti, kurus izmanto katlu barošanas ūdens sildīšanai. Auksts ūdens katlu barošanai nav ieteicams, jo liela temperatūru starpība rada nevēlamus termiskos spriegumus konstrukcijās, aukstais ūdens satur daudz gāzu (gaiss, CO₂), kas veicina koroziju. Sasildot barošanas ūdeni ar aizplūstošajām dūmgāzēm, tiek samazināti siltuma zudumi.

Gaisa sildītāji, t.i. siltumapmaiņas aparāti, kuros kurtuvē ievadāmo gaisu sasilina ar aizplūstošām dūmgāzēm.

Tvaika pārkarstētāji. Tos izmanto piesātināta tvaika pārkarstēšanai. Tie sastāv no neliela diametra līkloču izlocītu cauruļu kūļa.

Pelnu aizvākšanas ierīces. Vagonetes, skrēpera vai lentas transportieri, kā arī hidrauliski-sajaucot ar ūdeni un ar sūkņiem aizsūkņējot no katlu mājas. Sausā veida pelnus var aizvākt pneimatiski – ar vakuumsūkņiem. Var lietot arī pneimohidraulisko paņēmieni, kad pelnu un ūdens maisījumu uzpūto ar saspīestu gaisu un paceļ augstāk novietotā tvertnē, no kurienes pelnu hidromasa aizplūst pašteces veidā.

Dūmgāzu attīrīšana. Dūmgāzes arī satur pelnus. Ja tās neattīrītu, pelni izplūstu atmosfērā un piesārņotu apkārtējo vidi. Pie mehāniskajiem pelnu uztvērējiem pieder cikloni, ciklonu batarejas, vai arī žalūziju pelnu uztvērēji. Lieto arī slapjos pelnu uztvērējus (skruberus), kuros pelni pielīp pie mitrām virsmām, no kurienes tos noskalo ūdens. Lielās katlu iekārtās izmanto elektrofiltrus, kuros līdzstrāvas elektriskajā laukā pelni nosēžas uz viena elektroda, no kurienes tos iekrata īpašā tvertnē.

Velkme. Katla agregātā nepārtraukti jāievada gaiss un jāaizvada dūmgāzes. Plūsmu berzes pretestību pārvarēšanai jāpatērē enerģija. Lai siltuma pāreju intensificētu, vēlams lielāks dūmgāzu ātrums, bet tas saistīts ar pretestības pieaugumu. Maziem katliem pietiek ar dūmeņa radīto velkmi. Nepieciešamo dūmeņa augstumu H var aprēķināt pēc formulas:

$$H = S / 9,81 (\rho_g - \rho_d),$$

kur ρ_g - apkārtējā gaisa blīvums (Latvijā 30⁰ C temperatūrā un pie 101,3 kPa spiediena) kg/m³ ;
 ρ_d - aizplūstošo dūmgāzu blīvums temperatūrā t_a kg/m³ ;

Apdzīvotu vietu tuvumā dūmeņa augstumu izvēlas, vadoties no sanitāriem apsvērumiem – lai dūmgāzes atmosfērā pietiekami izkliedētos. Lielu katlu gadījumos jāparedz mākslīga velkme – jāuzstāda dūmsūcēji un ventilatori gaisa padevei kurtuvē. Gaisa dūmgāzu plūsmu aerodinamisko pretestību aprēķiniem sastādītas nomogrammas.

Katlu barošana. Katlā jāievada tikpat daudz ūdens, cik patērēts tvaika. Barošanas ūdenim jāpārvar katla spiediens. To panāk ar sūkņiem. Katla agregātam jāpievieno vismaz 2 barošanas sūkņi. Tos abus var piedzīt ar tvaiku, bet, ja vienu piedzen ar elektrodzinēju, tad otrs obligāti jādarbina ar tvaiku, tas domāts gadījumam, kad traucēta elektropadeve.

Ūdens sagatavošana. Katla normālai darbībai nepieciešams tīrs ūdens, kuru no duļķēm attīra nostādinot un filtrējot caur kvarca smiltīm, antracīta smalkumiem, marmora drupatām, granti vai citiem filtrējošiem materiāliem.

Ūdenī izšķīdušās sāļis veido uz katla sildvirsmām katlakmeni (Ca un Mg sāļis). Šie sāļi veido ūdens cietību. Tā vienība ir kalcija vai magnija miligramekvivalentu skaits 1 kg ūdens (mg-ekv/kg).

Ūdeni uzskata par mīkstu, ja cietība mazāka par 3, par vidēji cietu, ja cietība ir 3..6, bet par cietu, ja tā lielāka par 6 mg-ekv.kg. ūdeni attīra filtrējot, pirms tam pievienojot koagulantus (Al₂(SO₄)₃ ; u.c. koagulātorus). Mīkstināšanas paņēmieni ir vairāki: termiskais (pārtvaice), ķīmiskais, elektromagnētiskais, u.c. Pirms ievadīšanas katlā ūdens jāatbrīvo no tajā izšķīdušajām gāzēm (O₂, CO₂ u.c.), lai pasargātu katla iekšējās virsmas no korozijas.

Separācijas iekārtas. Izplūstot no katla boilerā, ūdens tvaiks rauj līdzī ar ūdens daļiņas. Bet ūdens satur sāļis, kas nosēžas tvaika pārkarsētāja caurulēs un uz turbīnu lāpstiņām. Tas ir bīstami, tāpēc ir izveidotas īpašas tvaika separācijas iekārtas. Tvaika separācija būtībā ir ūdens mehāniska

atdalīšana no tvaika. Šim nolūkam tvaika ūdens maisījuma strūklu virza pret vairogiem, žalūzijām vai caurumotām plāksnēm. Ūdens daļiņas, atsitoties pret virsmām, zaudē ātrumu un saplūst boilerā, bet tvaiks aizplūst uz pārkarsētāju.

Cauruļvadi un katla armatūra. Lielāko daļu katla agregāta iekārtas savieno cauruļvadu sistēmas. Cauruļvadus iedala atkarībā no siltumnesēja spiediena un temperatūras. Jo augstāki siltumnesēja parametri (t , p), jo stingrākas prasības tiek uzstādītas attiecībā uz cauruļvadu materiālu. 1, 2, 3. kategorijas cauruļvadiem tiek izmantotas tikai bezšuves caurules. 4. kategorijai der arī metinātas caurules. Pie katlu armatūras pieder ventiļi, aizbīdņi, vārsti un krāni. Tie var būt noslēdzošie, regulējošie un drošības.

Kontroles un mērīšanas aparatūra. Katla darbība jākontrolē nepārtraukti. Šim nolūkam katlam obligāti jāpievieno manometri, ūdens līmeņrāži, termometri, drošības vārsti, noslēdzošie un vienvirziena ventiļi.

7. ŽĀVĒŠANA

7.1. Žāvēšanas procesa vispārīgs raksturojums

Ķīmiskajā rūpniecībā lieto izejvielas un pusfabrikātus ar dažādu mitruma saturu. Mitruma samazināšanas procesa rezultātā palielinās materiāla mehāniskā izturība, samazinās masa, u.c. Mitruma samazināšanai pakļauti dažādi materiāli: cieti, šķidri un gāzveida. Tā samazināšanai lieto vairākus paņēmienus:

1. Mehāniskos paņēmienus – spiežot, filtrējot, centrifugējot. Šos paņēmienus lieto, ja ir augsts mitruma saturs;

2. Fizikālķīmiskos paņēmienus – mitrumu saista ar higroskopiskām vielām: koncentrētu sērskābi, fosfora(V) oksīdu, kalcija hlorīdu, silikagelu u.c. Šis paņemiens ir dārgs, tādēļ to lieto gāzu žāvēšanai, ja ir necīgs mitrums;

3. Siltuma paņēmienus – izgarošana, iztvaicēšana un kondensācija (samazina gāzes mitrumu, atdzesējot tās zemāk par rasas temperatūru). Sildot mitrumu var pilnīgi aizvadīt no materiāla.

Mitruma samazināšanu, izmantojot siltuma paņēmienus, plaši lieto tehnikā un sauc par žāvēšanu (kaltēšanu).

Abos pirmajos paņēmienos mitrumu no materiāla aizvada, nemainot mitruma agregātstāvokli.

Žāvējot ar siltumu, mitrumu pārvērš tvaikā un aizvada no materiāla.

Izšķir dabisko un mākslīgo žāvēšanu. Dabisko žāvēšanu realizē atklātā gaisā (kūdras, siena, u.c. žāvēšana), zem nojumēm (ķieģeļu, ārstniecības augu, malkas, u.c.) bez īpašas siltuma enerģijas pievadīšanas. Šis žāvēšanas veids ir atkarīgs no laika apstākļiem, ir ilgstošs, un tajā iegūst produktu ar augstu un mainīgu mitruma saturu.

Ķīmiskajā rūpniecībā galvenokārt lieto mākslīgo žāvēšanu. Siltuma enerģijas pievadītājs ir karsts gaiss, dūmgāzes, inertas gāzes, ūdens tvaiks. Mitrumu no materiāla uzņem žāvētavas vide, kuru nosūc ventilators vai vakuumsūknis.

7.2. Žāvēšanas pamatveidi

Ķīmiskajā rūpniecībā lieto vairākus mākslīgās žāvēšanas veidus:

1. **Konvektīvā žāvēšana.** To izdara ar gaisu (vai dūmgāzēm) paaugstinātā temperatūrā. Ir viegli uzturēt žāvēšanai nepieciešamo režīmu (temperatūru, gaisa mitrumu, plūsmas ātrumu, u.c.) un iegūt materiālu ar vēlamo mitrumu. Šajās žāvētavās sasniedz augstu ražīgumu.

2. **Kontakta žāvēšana.** Žāvējamais materiāls siltumu iegūst, saskaroties ar karstām virsmām, kuras apsilda piesātināts tvaiks vai dūmgāzes. Žāvēšanu realizē, materiālu novietojot pēc iespējas plānākā slānī.

Šie abi paņēmieni ir visvairāk izplatīti. Ķīmiskajā rūpniecībā lieto vēl šādus Speciālus žāvēšanas veidus:

- Radiācijas žāvēšana,
- Žāvēšana augstfrekvences strāvas laukā,
- Molekulārā (sublimācijas) žāvēšana,
- Žāvēšana ar piesātinātu ūdens tvaiku,
- Žāvēšana ar pārsātinātu ūdens tvaiku, u.c.

Cietu materiālu žāvēšanas process ietver šādas norises:

1. Siltuma pāreju no karstā gaisa (dūmgāzēm, karstām virsmām) uz žāvējamo materiālu;
2. Mitruma iztvaicēšanu no materiālu virsmas un tvaika difūziju apkārtējā vidē;
3. Mitruma pārvietošanos no materiāla iekšējiem slāņiem uz virsmu;

Minētās norises žāvēšanas procesā aplūko no žāvēšanas statikas un kinētikas viedokļa.

7.3. Žāvēšanas statika

Pētot žāvēšanu no statikas viedokļa, sakarība starp materiāla mitrumu un vides parametriem (temperatūru, relatīvo mitrumu) aplūko līdzsvara stāvoklī. Statikā pieņem, ka viss materiāla iztvaicējamais mitrums pārvietojas uz tā virsmu un nokļūst apkārtējā vidē. Mitruma pārvietošanu šeit nesaista ar laiku.

Šāds pieņēmums, izejot no žāvēšanas procesa materiālās un siltuma bilances, vienkāršo žāvēšanai nepieciešamā siltuma un gaisa daudzuma aprēķināšanu.

Žāvēšanas statika aplūko žāvējamā materiāla un apkārtējās vides savstarpējo iedarbību. Atkarībā no apstākļiem materiāls mitrumu vai nu atdod, vai uzņem to no apkārtējās vides.

Žāvēšana notiek tad, ja materiāls atdod mitrumu apkārtējai videi. Mitruma apmaiņa starp materiālu un apkārtējo vidi atkarīga no ūdens tvaika parciālā spiediena apkārtējā vidē (p_g) un virs materiāla virsmas (p_m).

$$\text{Ja } p_m > p_g,$$

tad mitrums no materiāla pārvietojas uz apkārtējo vidi, t.i., materiāls žūst.

$$\text{Ja } p_m < p_g,$$

tad materiāls no apkārtējās vides uzņem mitrumu, t.i., materiāls mitrinās. Spiedienu starpība ir uzskatāma par žāvēšanas procesa virzošo spēku.

$$\Delta p = p_m - p_g$$

Jo Δp lielāks, jo straujāk notiek žūšana. Mitruma atdošana apkārtējai videi turpinās tik ilgi, kamēr $p_m = p_g$, t.i., $\Delta p = 0$. Tad iestājas līdzsvars. Materiāla mitrumu, kas atbilst šim stāvoklim, sauc par līdzsvara mitrumu w_l . Materiālam sasniedzot līdzsvara mitrumu, žūšanas process apstājas.

Līdzsvara mitrumu, kas atbilst vides pilnīgai piesātinātībai ($\varphi = 100\%$), sauc par materiāla higroskopisko punktu.

Ja materiāla mitrums lielāks par mitrumu, kas atbilst higroskopiskajam punktam, tad šādu materiālu sauc par mitru. Šādos apstākļos ūdens tvaika spiediens virs materiāla p_m vienāds piesātināta ūdens tvaika spiedienam p_{pies} dotajā temperatūrā. Šādā stāvoklī materiāls žūs pie jebkuriem apkārtējās vides parametriem.

Ja materiāla mitrums mazāks par mitrumu, kas atbilst higroskopiskajam punktam, tad materiāls atrodas higroskopiskā stāvoklī, $p_m < p_{pies}$. Šādā gadījumā materiāla žāvēšana ir atkarīga no ūdens tvaika spiediena apkārtējā vidē un iespējama žūšana, ja materiāla mitrums lielāks par materiāla līdzsvara mitrumu.

7.4. Mitruma saistība ar materiālu

Žāvēšanas procesa gaita ievērojami atkarīga no mitruma saistīšanās veida ar materiālu.

Ir trīs mitruma saistības veidi: mehāniskais, fizikālķīmiskais un ķīmiskais.

1. Ar materiālu mehāniski saistās virsmas mitrums un lielākos kapilārus aizpildošs mitrums. Šis ir tā saucamais ārējais jeb brīvais mitrums. Tas visvājāk saistīts ar materiālu un viegli no tā atdalāms. Mehāniski saistītais mitrums materiālā pārvietojas šķidrums veidā no materiāla centra uz iztvaikošanas joslām un tvaika veidā no iztvaikošanas joslām uz apkārtējo vidi.

2. Pie fizikālķīmiskā mitruma pieder materiāla kapilāros un porās adsorbētais mitrums (adsorbcijas mitrums), kā arī mitrums, kurš difūzijas osmotiskā spiediena rezultātā iekļūst šūnu iekšienē (osmotiskais mitrums), un tas, kuru ietver geli, tiem veidojoties (struktūras mitrums). Adsorbcijas un osmotisko mitrumu sauc par saistīto mitrumu. Šis mitrums noturas virsmas ārējo spēku lauka ietekmē. Adsorbcijas mitruma aizvadīšanai jāpatērē ievērojams enerģijas daudzums, jo mitrums jāpārvērš tvaikā, tikai tad tas pārvietojas uz materiāla virsmu. Osmotiskais mitrums difundē caur šūnu sienām šķidrums veidā. Fizikālķīmisko mitrumu ievērojami grūtāk aizvadīt no materiāla nekā mehāniski saistīto mitrumu.

3. Ķīmiski saistītais mitrums ir kristalizācijas ūdens (piemēram, kaolinīts $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), u.c. Šis mitrums ar materiālu saistīts noteiktā daudzumā un cieši. Kristalizācijas ūdeni var atdalīt karsējot. Vielas žāvējot, ķīmiski saistīto mitrumu neaizvada, tādēļ žāvētavu aprēķinos to neņem vērā.

7.5. Mitrā gaisa svarīgākie parametri

Žāvētavās gaiss (dūmgāzes), apskalojot žāvējamo materiālu, atdod tam siltumu, kas nepieciešams materiāla uzsildīšanai un mitruma iztvaicēšanai. Tanī pašā laikā gaiss uzņem mitruma tvaikus un tos aizvāc. Gaisu (dūmgāzes), kas vienlaicīgi ir siltuma pārnēsējs un mitruma uzņēmējs, sauc par žāvēšanas aģentu.

Žāvēšanas aģents ir sausa gaisa vai sauso sadegšanas produktu maisījums ar ūdens tvaiku, t.i. mitra gāze.

Žāvēšanas aģenta svarīgākie raksturojošie parametri ir šādi:

- relatīvais gaisa mitrums,
- mitruma saturs,
- siltuma saturs (entalpija);

Apstākļos, kādi sastopami parastās žāvētavās, mitrais gaiss (dūmgāzes) pēc savām īpašībām ir tuvs ideālām gāzēm.

Gaisa absolūtais mitrums. Par gaisa absolūto mitrumu sauc ūdens tvaika masu kilogramos, kas atrodas 1m^3 gaisa, t.i. , tvaika blīvumu ρ_t , jo tvaiks aizpilda visu tilpumu.

Maksimālais gaisa absolūtais mitrums ir tad, kad gaiss piesātināts ar tvaiku, jo šajā stāvoklī gaiss mitrumu vairs neuzņem. No minētā izriet, ka piesātināta ūdens tvaika blīvums ρ_p dotajā temperatūrā un spiedienā ir maksimālais gaisa absolūtais mitrums.

Gaisa relatīvais mitrums. Attiecību starp ρ_t un ρ_p , t.i. attiecību starp esošo absolūto mitrumu un maksimālo absolūto mitrumu tajā pašā temperatūrā, sauc par gaisa relatīvo mitrumu:

$$\varphi = \rho_t / \rho_p ,$$

Tvaika blīvums tieši proporcionāls tvaika parciālajam spiedienam, tādēļ var rakstīt, ka

$$\varphi = p_t / p_p ,$$

kur p_t – ūdens tvaika parciālais spiediens, ja tā blīvums ρ_t ; p_p – ūdens tvaika parciālais spiediens, ja tā blīvums ρ_p .

Relatīvais mitrums raksturo gaisa piesātinātību ar ūdens tvaiku. Ja relatīvo mitrumu izsaka procentos %, tad

$$\varphi = \rho_t / \rho_p \cdot 100 .$$

Absolūti sausam gaisam, ja $p_t = 0$, arī relatīvais mitrums $\varphi = 0$. Ar ūdens tvaiku piesātinātam gaisam, ja $p_t = p_p$, relatīvais mitrums $\varphi = 1$, jeb $\varphi = 100\%$.

Relatīvais mitrums ir viens no svarīgākajiem mitro gaisu raksturojošiem lielumiem.

Gaisa mitruma saturs. To apzīmē ar x vai d , un tas parāda to mitruma daudzumu kilogramos vai gramos, ko satur mitrais gaiss rēķinot uz 1 kg sausa gaisa.

Gaisa mitruma saturs proporcionāls tvaika un sausa gaisa blīvumu attiecībai.:

$$x = \rho_t / \rho_p \text{ (kg mitruma uz kg sausa gaisa)}$$

$$d = \rho_t / \rho_p \cdot 1000 \text{ (g mitruma uz kg sausa gaisa)}$$

Mitra gaisa siltuma saturs (entalpija).

Tas ir siltuma daudzums, kas nepieciešams 1 kg vielas sasildīšanai no 0^0 C līdz $t^0 \text{ C}$ nemainīgā spiedienā. Mitram gaisam entalpiju attiecina uz 1kg sausa gaisa. Mitrā gaisa entalpija summējas no 1 kg sausa gaisa entalpijas $I_g (H_g)$ un x kg ūdens tvaika entalpijas, I_t , t.i.

$$I = I_g + I_t \text{ (kJ/kg sausa gaisa).}$$

1 kg sausa gaisa siltuma saturs (entalpija) izsakāms šādi:

$$I_g = c_g t \text{ (kJ/kg sausa gaisa),}$$

kur c_g – gaisa īpatnējā siltumietilpība, $c_g = 1,00 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$;

t - gaisa temperatūra, $^0 \text{ C}$.

Ūdens tvaika siltuma saturs:

$$I_t = xi \text{ (kJ/kg sausa gaisa),}$$

kur i – ūdens tvaika siltuma saturs (kJ/kg)

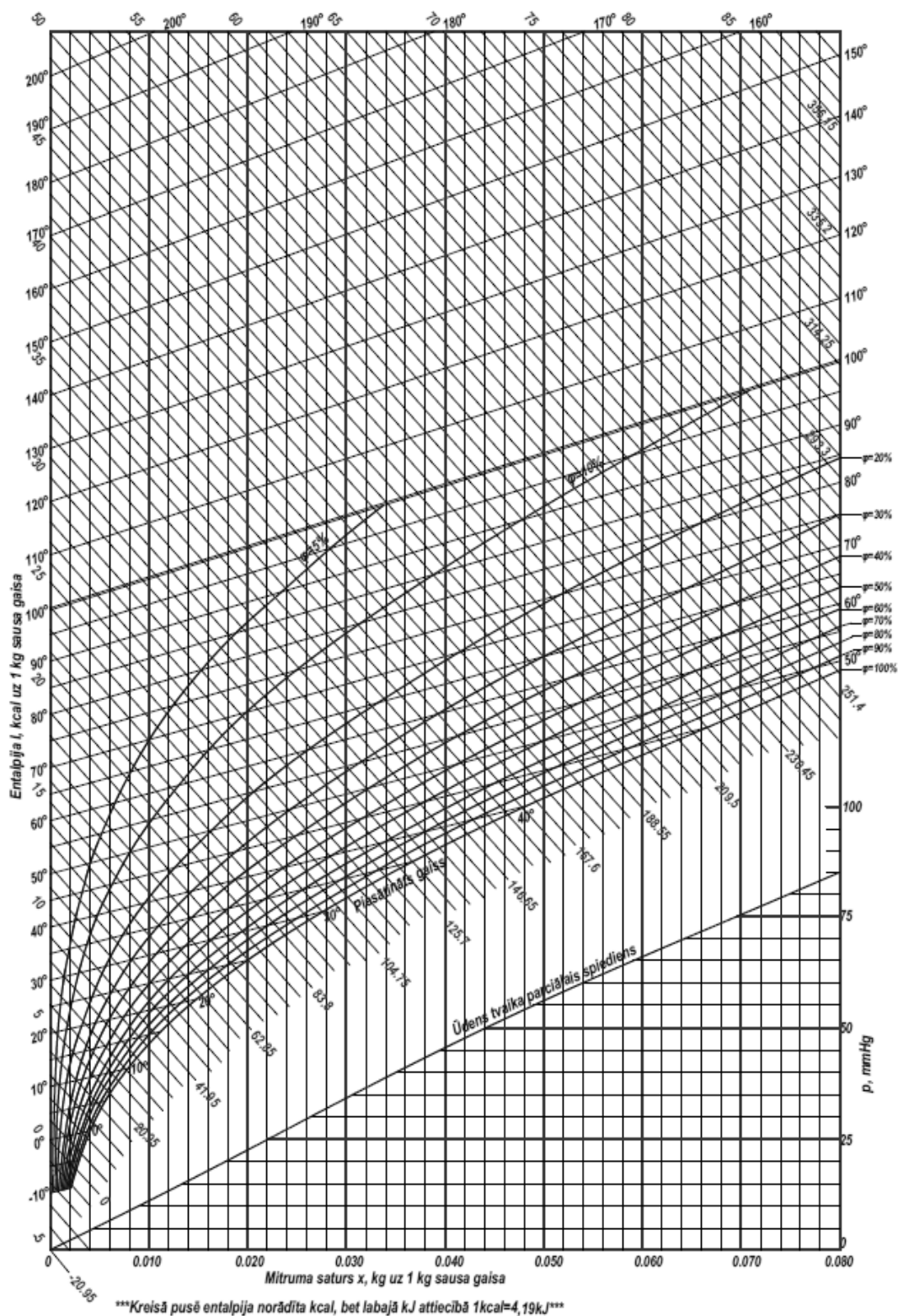
x - ūdens tvaika daudzums (kg).

Ūdens tvaika entalpiju nosaka pēc aptuvenas empīriskas formulas:

$$i = c_t t + r_0 = 1,97t + 2491,$$

kur r_0 – koeficients, kas aptuveni vienāds ar ūdens tvaika entalpiju 0^0 C temperatūrā,

$r_0 = 2491 \text{ kJ /kg}$; c_t – ūdens tvaika īpatnējā siltumietilpība, $c_t = 1,97 \text{ kJ /kg K}$.



I-x (I-d) diagramma

I (H)– x (entalpija - mitruma saturs) diagrammu pirmo reizi publicēja 1918. gadā L. Ramzins, tādēļ šo diagrammu arī sauc par Ramzina diagrammu. Diagramma sastādīta, ņemot par pamatu 1 kg sausa gaisa, kas atrodas mitrajā gaisā barometriskajā spiedienā 0,0993 MPa (745 mm Hg).

Žāvēšanas tehnikā aprēķinus izdara attiecībā uz sausa gaisa masu tāpēc, ka tā žāvēšanas iekārtās ir nemainīga.

I –x diagrammā ir šādas līnijas:

- 1) nemainīgo entalpiju līnija ($I = \text{const}$). Visi punkti uz vienas un tās pašas entalpijas līnijas ir ar vienādu entalpiju, kuras vērtības dotas šo līniju galos.
- 2) nemainīga mitruma satura līnijas ($x = \text{const}$).
- 3) nemainīga temperatūras līnijas – izoterms ($t = \text{const}$).
- 4) nemainīga relatīvā mitruma līnijas ($\varphi = \text{const}$).
- 5) ūdens tvaika parciālā spiediena līnijas ($p_t = \text{const}$).
- 6) mitrā termometra temperatūras līnijas ($t_m = \text{const}$).

8. ŽĀVĒTAVAS

Ķīmiskās rūpniecības žāvēšanas iekārtas iedala pēc vairākām pazīmēm:

1. Pēc tehnoloģiskās nozīmes:

- a) birstošu materiālu žāvēšanai;
- b) suspensiju žāvēšanai;
- c) izveidotu izstrādājumu žāvēšanai;

2. Pēc darba režīma:

- a) periodiskas darbības;
- b) nepārtrauktas darbības;

Periodiskas darbības (kameru) žāvētavas strādā cikliski: vispirms darba kamerā iekrauj žāvēšanai paredzēto materiālu, pēc tam to žāvē un beidzoties žāvēšanas procesam materiālu izkrauj no žāvētavas. Šajās žāvētavās ir nestacionārs žāvēšanas režīms, jo katrā darba kameras punktā siltumnesēja temperatūra un mitruma saturs izmainās laikā. Periodiskas darbības žāvētavās var uzturēt individuālu žāvēšanas režīmu katrā kamerā un katrā darba ciklā. Tās var izmantot sarežģītu formu, liela izmēra izstrādājumu žāvēšanai, arī nelielu uzņēmumu darbā.

Nepārtrauktas darbības žāvētavās žāvēšanas režīms ir nemainīgs, materiālu iekraušana un izkraušana notiek nepārtraukti. Salīdzinot ar periodiskas darbības žāvētavām. Tās ir ekonomiskākas, nav jāpatērē papildus siltums daudzkārtējai žāvētavu konstrukciju uzsildīšanai, tām ir lielāka ražība, mazāks kurināmā patēriņš, iespējams automātiski regulēt un kontrolēt žāvēšanas režīmu. Tās ir vairāk izplatītas lielos uzņēmumos masveida produkcijas žāvēšanai.

3. Pēc siltuma apmaiņas veida darba kamerā:

- a) konvektīvās,
- b) radiācijas,
- c) kontakta,
- d) kombinētās.

Konvektīvās žāvētavās žāvējamo materiālu “apskalo” karsts gaiss vai dūmgāzes. Kontakta žāvētavās žāvējamais materiāls saskaras ar sakarsētām virsmām. Radiācijas žāvētavās materiāls absorbē siltumu (infrasarkanos starus), kurus izstaro gāzu vai elektriskie sildītāji. Izplatītākās ir konvektīvās un kontakta žāvētavas, kā arī kombinētās.

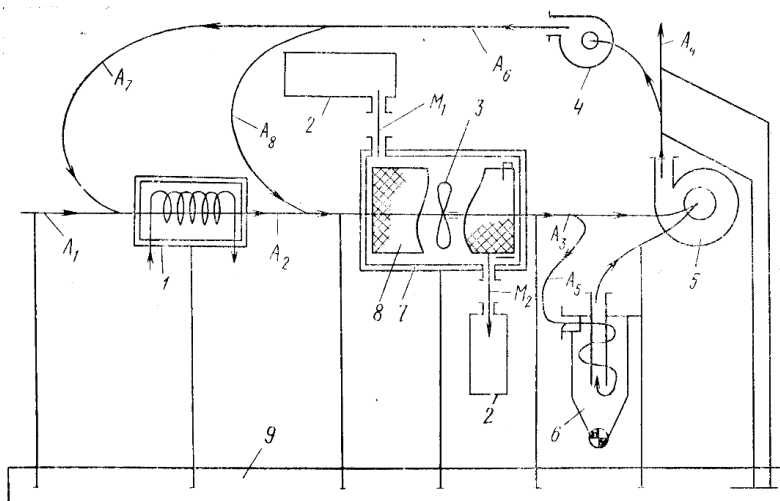
Atsevišķu žāvētavu grupu sastāda žāvētavas ar elektrisko apsildi, izmantojot žāvējamā materiāla omisko pretestību, vai pielietojot augstfrekvences strāvu.

4. Pēc siltumnesēja veida un izmantošanas reizēm

- a) ar vienreizēju siltuma izmantošanu,
- b) ar siltumnesēja recirkulāciju,
- c) ar papildus sildīšanu,
- d) ar daudzkārtēju siltumnesēja cirkulāciju,
- e) kombinētās.

5. Pēc darba kameras formas:

- a) šahtu,
- b) cauruļveida,
- c) cilindrveida,
- d) torņu,
- e) valču,
- f) kameru,
- g) tuneļu,
- h) spraugu.



22.att. Žāvētavas darbības principiālā shēma

Žāvētava ir daudzu tehnisku ierīču komplekss. Galvenās sastāvdaļas ir darba kamera (7), kurā ievietots žāvējamais materiāls, siltuma avots (1) – siltais gaiss, dūmgāzes, u.c., ventilācijas iekārta (5). Atmosfēras gaiss (plūsma A_1) pēc uzsildīšanas sildītājā (1) kā plūsma A_2 nonāk žāvētavas darba kamerā, kur notiek materiāla uzkaršēšana un žāvēšana, tālāk atstrādātais mitrais gaiss ar plūsmu A_3 nonāk ventilācijas iekārtā (5), kas to izvada atmosfērā (plūsma A_4). Žāvējot putekļainus materiālus, atstrādātais gaiss (A_5) tiek attīrīts no putekļiem ciklonā (6), vai ciklonu batarejā, skruberos, elektrofiltros, vai citās atputekļošanas iekārtās.

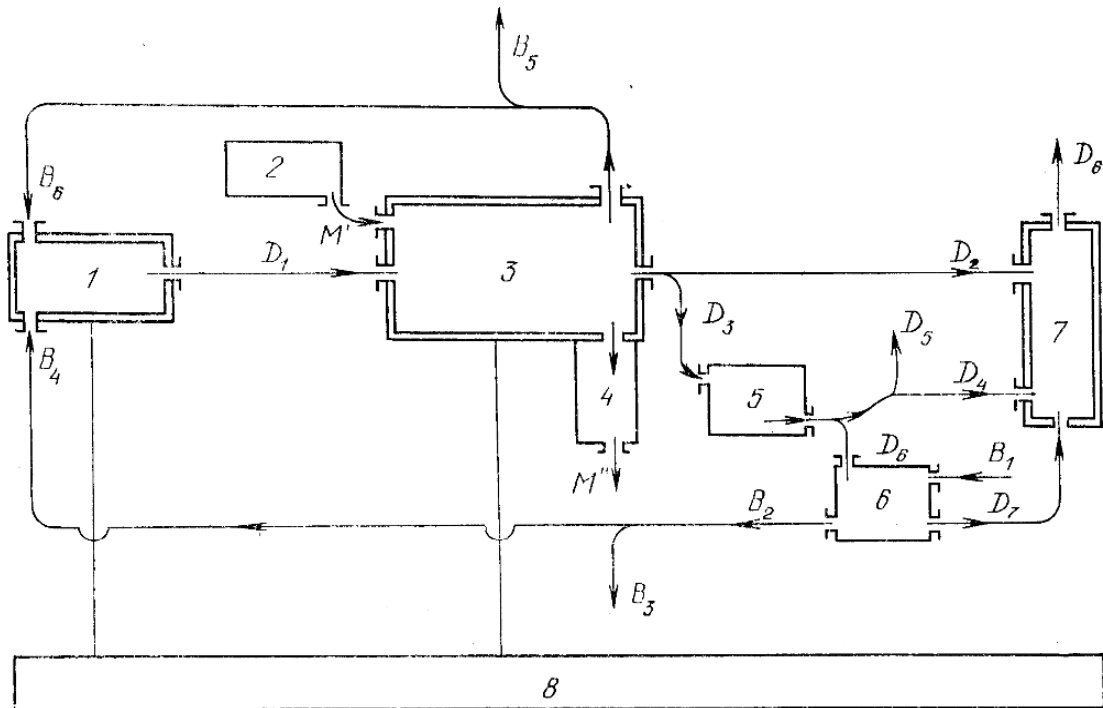
Dažās shēmās paredzēta atstrādātā siltumnesēja recirkulācija, tā daļēja otrreizēja izmantošana (A_6), samaisot to ar auksto (A_7), vai uzsildītu (A_8) gaisu. Daļu atstrādātā gaisa pārvieto ar ventilācijas iekārtu (4). Daudzās žāvētavās (darba kamerās) intensificē siltumnesēja piespiedcirkulāciju ar ventilācijas ierīci (3), kas var būt stacionāra vai pārvietojama.

9. KRĀSNIS

Krāsnis ir tehnoloģiskas nozīmes iekārtas, kurās ar augstu temperatūru palīdzību tiek izmainīts apdedzināmo, vai kausējamo materiālu un izstrādājumu agregātstāvoklis, ķīmiskais sastāvs vai kristāliskā struktūra.

Krāsnis var iedalīt pēc dažādām pazīmēm:

- pēc tehnoloģiskās nozīmes: gabalveida vai birstošo materiālu apdedzināšanai; izveidoto izstrādājumu apdedzināšanai; silikātu materiālu kausējumu iegūšanai;
- pēc darbības režīma: periodiskas darbības un nepārtrauktas darbības;
- pēc darba kameras formas: šahtu; rotācijas; kameru; gredzenu; tuneļu; spraugu; vannu;
- pēc siltumapmaiņas veida: tiešās liesmas; mufeļu (caur starpsienu);
- pēc siltumnesēja veida: liesmas; elektriskās;



23.att. Rūpniecības krāsns principiālā darbības shēma

Krāsns galvenie elementi (shēmā parādīti ar dubultkontūru) ir darba kamera (3), kurtuve (1), velkmes iekārta (7). Kurtuvē tiek iegūts siltums, sadedzinot kurināmo. Dūmgāzes akumulē kurināmā sadegšanas rezultātā radušos siltumu un nonāk darba kamerā (plūsma D_1) un, iedarbojoties uz apdedzināmo materiālu, uzkarsē to siltuma konvekcijas un starošanas ceļā. Kurtuves var

atrsties ārpus krāsns, vai arī iebūvētas krāsns darba kamerā. Dažām krāsniem nav vispār atsevišķu kurtuvju, bet kurināmā sadegšana notiek krāsns darba kamerā. Piem. gredzenu un šahtu krāsns.

Kā velkmi veidojošas ierīces tiek izmantoti dūmvadi un dūmsūkņi. Pateicoties to radītajai velkmei tiek nodrošināta gāzu – gaisa plūsma krāsni, pārvarot radušās aerodinamiskās pretestības.

Bez pamata funkcionālajiem elementiem modernās krāsns ir aprīkotas ar daudzām palīgierīcēm. Apdedzināmā materiāla iekraušanu krāsni nodrošina ar speciāliem mehānismiem – barotājiem (4), kuri var būt ar dažādu konstrukciju, atkarībā no krāsni ievadāmo materiālu veida (gabali, birstoši, u.c.). Apdedzināto materiālu izkraušanai ir paredzēti izkraušanas mehānismi (5).

Atstrādātās dūmgāzes (plūsma D_2) ir iespējams no krāsns tieši ievadīt velkmes iekārtā (7) un tālāk atmosfērā (plūsma D_6), vai arī pirms tam tās attīra no putekļiem (plūsma D_3). Kā atputekļošanas ierīces tiek izmantotas putekļu nosēdināšanas kameras, cikloni, ciklonu batarejas, piedurkņu filtri, elektrofiltri un skruberi (slapjās gāzu attīrīšanas iekārtas). No putekļiem attīrītās gāzes (plūsma D_4) ar velkmes iekārtas palīdzību var ievadīt atmosfērā, vai arī izmantot kā siltumnesēju žāvētavās (D_5), vai arī tās (plūsma D_6) var izmantot speciālās siltuma utilizācijas iekārtās. Pie tām pieder: rekuperātori vai reģenerātori gaisa uzsildīšanai, u.c. Rekuperātori ir nepārtrauktas darbības, bet reģenerātori – periodiskas darbības iekārtas. No siltuma utilizācijas iekārtām (plūsma D_7) atdzesētās dūmgāzes ar velkmes iekārtas 3 palīdzību tiek izvadītas atmosfērā.

Atmosfēras gaisu (B_1), kuru uzsilda siltuma utilizātorā 7 (B_2), var izmantot ne tikai krāsni, bet arī kā siltumnesēju žāvētavā, telpu apsildīšanai (B_3), vai arī kurināmā sadedzināšanai kurtuvē (B_4).

Beidzoties apdedzināšanas procesam, apdedzinātais materiāls tiek atdzesēts ar aukstu gaisu darba kamerā (krāsni), vai atsevišķi stāvošā dzesētājā. Dzesēšanas procesā uzsilušais gaiss var tikt izmantots kā siltumnesējs žāvētavā (B_5), vai kurināmā sadedzināšanai (B_6) kurtuvē.

Šobrīd krāsns ir apgādātas ar modernu kontrolmērinstrumentu sistēmu un siltuma režīma automātiskās regulēšanas sistēmām (8), kuras saistītas ar iekraušanas un izkraušanas mehānismiem.

Tāda ir mūsdienu krāšņu darbības vispārējā shēma un elementi. Krāšņu konstrukcijas ir ļoti daudzveidīgas un turpina visu laiku attīstīties.

10. LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Osipovs L. Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesi un aparāti. Rīga, Zvaigzne, 1991, 680. lpp.
2. Nagla J., Saveljevs P., Ciemiņš R. Siltumtehnikas pamati. Rīga, Zvaigzne, 1981, 355. lpp.
3. Gailītis A., Turks A. Siltumtehnikas un hidraulikas pamati. Rīga, Zvaigzne, 1978, 387. lpp.
4. Nagla J., Saveljevs P., Cars A. Siltumtehnikiskie aprēķini piemēros. Rīga, Zvaigzne, 1982, 310 lpp.
5. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов., М.: Стройиздат, 1983, 367 с.
6. Перегудов В.В., Роговой М.И., Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей ., М.: Стройиздат, 1983., 416 с.