

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLYGI
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

M. G. KELOWA

**ESASY ORGANIKI DÄL SINTEZIŇ
TEHNOLOGIÝASY**

II BÖLÜM

KÜKÜRT KISLOTASYNYŇ ÖNÜMÇILIGI



AŞGABAT - 2010

SÖZBAŞY

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljeginiz bolan ýaşlaryň dünýäniň iň ösen talaplaryna laýyk gelýän derejede bilim almagy üçin ähli işler edilýär.

Hormatly Prezidentimiz döwlet başyna geçen ilkinji gününden bilime, ylma giň ýol açdy, Türkmenistan ýurdumyzda milli bilim ulgamyny kämilleşdirmek boýunça düýpli özgertmeler geçirmäge girişdi.

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň «Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda» 2007-nji ýylyň 15-nji fewralyndaky Permany bilim ulgamyndaky düýpli özgertmeleriň başyny başlady.

Häzirki wagtda milli bilim ulgamyndaky döwrebap özgertmeler ýaş nesliň ýokary derejede bilim almagyna we terbiýelenmegine, giň dünýägaraýyşly, edep-terbiýeli, tämiz ahlakly, kämil hünärmenler bolup ýetişmeklerine uly ýardam edýär.

“Esasy organiki däl sinteziň tehnologiýasy” dersinden okuw kitaby Täze Galkynyş we Beýik özgertmeler zamanasynda ýokary bilimli hünärmenleri taýýarlamaklyga bildirilýän talaplary göz önünde tutup taýýarlanylady.

Kükürt kislotasy senagatyň köp pudaklarynda wajyp önümleri almak üçin giňden ulanylýar. Aýratyn-da, kükürt kislotasynyň köp bölegi oba hojalygynyň hasyllylygyny ýokarlandyrmak üçin zerur bolan mineral dökünleri öndürmekde ulanylýar.

Kükürt kislotasy nebit, metallurgiýa we senagatyň beýleki pudaklarynda giňden ulanylýar. Şeýle hem duzlary we kislotalary almakda, organiki önümleri, boýaglary, partlaýjy maddalary we beýlekileri almakda suw sorujy we guradyjy serişde hökmünde peýdalanylýar.

Okuw kitaby taýýarlanylanda ýokary okuw mekdepleriniň talyplaryna – geljekki inženerlere esasy organiki

däl sinteziň tehnologiýasy dersini doly öwredip, olaryň hünär ugurlary boýunça göz ýetimi giň, himiýa tehnologiýalaryndan gowy baş çykarmaklaryna we olary özleşdirmeklerine tehnologiiki taýýarlyklaryny üpjün etmek wezipelerinden ugur alyndy.

Kitapda kükürt kislotasynyň önümçilik usullary beýan edildi, kükürt kislotasynyň tehnologiiki prosesiniň ähli stadiýalaryna we teoretiki esaslaryna seredilip geçildi. Kükürt kislotasy önümçiliginiň tehniki ösüşiniň perspektiw ugurlary: kislorodyň, ýokary basyşyň we beýl. usullaryň ulanylmagy bilen kükürt kislotasynyň önümçilikleri görkezilýär.

Okuw kitaby “Organiki däl maddalaryň himiki tehnologiýasy” hünäriniň talyplary üçin niýetlenen.

GIRIŞ

Türkmenistanda himiýa önümlerini: natriý sulfaty, epsomiti, bişofiti, ýodlanan azyklyk duzy, tehniki ýody, şol sanda kükürt, kükürt kislotasyny, mineral dökünleri we önümleriň beýleki görnüşlerini uly möçberlerde öndürmek üçin ýeterlik çig mal serişdeleri bar.

Fosfor dökünleri bilen üpjün etmegiň meseleleri ösüş meýilnamalarynda belli bir derejede aýratynlykda durýar.

Fosfor dökünlerini öndürmek üçin çig malyň – fosforitiň we kükürt kislotasynyň zerurdygy mälimdir. Samandep gazy kükürtden arassalamak boýunça toplumyň işe girizilmegi bu ugurdaky ýagdaýy ep-esli ýeňilleşdirer, ol kükürt gaz kánleriniň ýerli serişdelerini peýdalanmaga, has arzan bolan gaz kükürdini almaga we onuň esasynda has arzan we has ýokary hilli kükürt kislotasyny öndürmäge mümkinçilik berer, bu bolsa öz gezeginde Türkmenabatdaky himiýa kärhanasynda mineral dökünleri öndürmek boýunça täze kuwwatlary has doly peýdalanmaga we ösdürmäge şert döreder.

Häzirki wagtda ýurdumyzyň düýpli reformalary başdan geçirýän oba hojalygy üçin niýetlenen ýokary hilli dökünleriň öndürilişini artdyrmak «Türkmenhimiýa» döwlet konserniniň işiniň ileri tutulýan ugurlarynyň biri bolup durýar. «Maryazot» önümçilik birleşigi, Tejen şäheriniň karbamid öndürýän zawody, Türkmenabadyň azot we fosfor dökünlerini taýýarlaýan himiýa kärhanasy hasyllylygyň artdyrylmagyna ýardam berýän dökünleri uly möçberlerde öndürýänleriň hatarynda durýar.

Dökünleriň öndürilýän möçberlerini we dökünleriň görnüşlerini artdyrmakda zerur çig malyň ýataklarynyň özleşdirilmegine aýratyn möhüm ähmiýet berilýär. Balkan welaýatynda *Tüwergyr* meýdançasýnda we Lebap welaýatynyň *Gowurdak-Köýtendag dag-magdanly* ýerlerinde *fosforitleriň ýataklary* ýüze çykarylady.

Geologiýa-gözlege degişli maglumatlar göz önünde tutulyp, bularyň gollaryny takykklamak işi dowam etdirilýär, şeýle hem çig maly baýlaşdyrmagyň we gaýtadan işlemegiň tehnologiýasy özleşdirilýär.

Türkmenbaşydaky nebiti gaýtadan işleýän zawodlar toplumynda *kükürt* çykarmak üçin niýetlenen desganyň gurulmagy Türkmenabadyň himiýa zawodynda *fosfor dökünleriniň* zerur komponentleriniň biri hasaplanýan *kükürt kislotasynyň* önümçiligini ýola goýmaga mümkinçilik berdi. Häzirki wagtda bu önümçiligiň depgini güýçlenýär.

Bu ýerde kuwwatlylygy her ýylda *500 müň tonna kükürt kislotasyny* öndürmek boýunça täze sehiň gurluşygyna badalga berilýär. Enjamlary getirmek hem-de enjamlary işe girizmek işlerini Kanadanyň belli “Chemetics” kompaniýasy amala aşyrar. Täze sehiň önümi zawodyň özünde fosfor dökünlerini öndürmek üçin hem-de ýurdumyzyň halk hojalygynyň beýleki pudaklarynyň hajatlary üçin ulanylar. Şeýle hem bu önüm ýod-brom zawodlarynda, dokma we azyk senagatynda hem-de ýangyç-energetika toplumynda ulanylýar.

Şu özgertmeleriň ählisi ýurdumyzyň oba hojalygynyň, beýleki pudaklaryň ösdürilmegine we umuman, döwletiň ykdysady kuwwatynyň artdyrylmagyna, türkmen halkynyň maddy hal-ýagdaýynyň has-da gowulandyrylmagyna ýardam berer.

I. UMUMY MAGLUMATLAR

1.1. Gysgaça taryhy maglumatlar

Kükürt kislotasy gadymy wagtlardan bäri mälimdir. Ony ilki başda demir kuporosynyň gury peregonkasy arkaly alypdyrlar. Şonuň üçin konsentirlenen kükürt kislotasyny öňki döwürde kuporos ýagy diýip atlandyrypdyrlar. Şol usul boýunça eýýäm 1526-njy ýylda köp bolmadyk mukdarda tüsseleýän kükürt kislotasyny alypdyrlar. XV asyryň 2-nji ýarymynda kükürt kislotasyny medisnada ulanmak üçin uly göwrümlü gaplarda kükürdi we selitrany ýakyp alypdyrlar. Onuň diwarlary suw bilen öllenilipdir. Angliýada ilkinji kükürt kislotasyny öndürýän zawod 1740-njy ýylda gurulýar. Ol ýerde kükürt kislotasyny kükürt bilen selitrany metal gaplarda gyzdyryp alypdyrlar, şonda emele gelýän gazlar bolsa aýna gaplarda suw bilen siňdirilipdir. 1746-njy ýylda şol maksatlar üçin gurşun kameralar ulanylypdyr, şol usul hem kameraly usul diýlip atlandyrylypdyr.

Başlangyç garyndynyň ýanma prosesinde emele gelýän kükürtli angidrid bilen azot oksidleri kameranyň düýbüne guýlan suwda eräp kükürt kislotasyny emele getiripdir. Gazlaryň galany aýrylandan soň kükürt kislotasynyň gerek bolan konsentrasiýasy alynýança kamerada garyndynyň täze mukdary ýakylpdyr. Geljekde kameralara suw buguny goşmak we prosesi üznüksiz geçirmek teklipe edilipdir. XIX asyryň başlarynda kükürdi peçlerde ýakyp başlapdyrlar, selitrany kükürt kislotasy bilen dargatmak bilen bolsa azot oksidlerini alypdyrlar. XX asyryň başlarynda gurşun kameralaryň ýerine goýum bilen doldurylan minara (başnyalar) ulanylypdyr. Azot oksidlerini ulanyp kükürt kislotasyny almagyň prosesine minaraly (başnyaly) proses diýipdirler.

Kükürt kislotasyny kontakt usuly bilen almaklyk 1831-nji ýylda ýüze çykýar. Şol döwürde Filips (Angliýa) SO_2 -ni gyzdyrylan platina katalizatory arkaly gaz garyndysy

geçirilende göniden-göni howadaky kislorod bilen okislemekligi tekliپ edipdir. Katalizator hökmünde platina ulanylypdyr. Biraz soň okislenme reaksiýasynyň katalizatorlary hökmünde käbir metallaryň oksidleriniň (mysal üçin, demiriň, misiň, hromuň we b.), şeýle hem farforyň, keramikanyň, toýunyň we beýleki köp maddalaryň ulanyp bolýandygy kesgitlenipdir. Kontakt usuly uzak wagtyň dowamynda platina katalizatoryň zäherlenmeginiň seäaplerini takyk kesgitlemeklik başartmanlygy netijesinde senagata ornaşdyrylmadyr.

XX asyryň başlarynda R. Knitç (Germaniýa) senagat şertlerinde katalizatoryň işjeňliliginiň (aktiwliginiň) peselmeginiň seäplerini kesgitläpdir we kükürt dioksidini zyýanly goşundylardan arassalamagyň usullaryny işläp düzüpdir. Kükürt kislotasyny almak üçin birnäçe aýratyn apparatlaryň gurluşy we tutuş kontakt kükürt kislotasy zawodynyň gurluşy bilen tapawutlanýan dürli kontakt sistemalar tekliپ edilipdir. 1930-njy ýylda gaýnaýan gatlakly peç ulanylyp başlanýar.

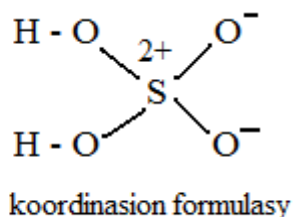
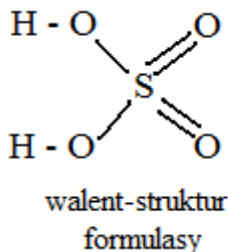
1931-nji ýylda köp mukdarda suw buguny saklaýan gazlardaky kükürt dioksidini (SO_2) okislemek boýunça daşary ýurt rus alymlarynyň synaglarynyň netijeleri çäp edilipdir. Bu proses öl kataliz usuly diýlip atlandyrylýar, ol ilki bilen Germaniýada, ondan soň beýleki köp ýurtlarda senagatda giňden ulanylyp başlanýar.

1.2. Kükürt kislotasynyň we oleumyň häsiýetleri

Kükürt kislotasy himiýa senagatynyň esasy önümleriniň biri bolup, halk hojalygynyň dürli pudaklarynda ulanylýar. Kükürt kislotasynyň aýratynlygy – ol tüsselänok, reňksiz, yssyz, otag temperaturasynda suwuk görnüşde bolýar we konsentrlenen görnüşinde gara metallara täsir edenok.

Kükürt kislotasy güýçli kislotalara degişli, esasy aýratynlyklarynyň biri onuň azot we duz kislotalaryndan takmynan 2 esse arzanlygydyr.

Kükürt kislotasynyň düzümi formula arkaly aňladylýar:



Himiýada kükürt kislotasy diýlip kükürt angidridiniň (SO_3) suw bilen birleşmesine ($\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) aýdylýar.

Suwsuz kükürt kislotasy (monogidrat) 81,63 % SO_3 we 18,37 % H_2O saklaýar.

Tehnikada kükürt kislotasy diýlip SO_3 - ñ suw bilen ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) islendik garyndysyna aýdylýar ($\text{H}_2\text{O} : \text{SO}_3$ mol gatnaşygy 1-den uly). Eger garyndyda bu gatnaşyk 1-den kiçi bolsa, onda olar kükürt angidridiniň kükürt kislotasyndaky erginleri bolup, oňa oleum ýa-da tüsseleýän kislota diýilýär ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$). Suwsuz kükürt kislotasy 20 °C-da reňksiz, ýagjymak suwuklyk, 10,37 °C-da kristallaşýar, 296 °C-da we ($0,98 \cdot 10^5$ Pa) suwsuz kükürt kislotasy gaýnap başlaýar.

Kükürt kislotasy suw bilen 3 sany birleşmeleri: ($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ we $4\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) we kükürt angidridi bilen bolsa 2 birleşmäni emele getirýär: SO_3 ($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$ we $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{SO}_3$).

Kükürt kislotasynyň suwly erginleriniň düzümi H_2SO_4 bilen SO_3 -iň (%-de) saklanyşy, oleumyň düzümi bolsa – umumy we erkin kükürt angidridiniň saklanyşy, şeýle hem oleuma suw goşulanda H_2SO_4 -nyň alyp boljak mukdary bilen häsiýetlendirilýär.

Kükürt kislotasynyň konsentrasiýalarynyň görkezilen aňlatmalarynyň arasyndaky gatnaşygy kesgitlemek üçin şu deňlemenden peýdalanýarlar:

$$A = 0,8163B$$

$$B = 1,225A$$

$$A = 81,63 + 0,1837W$$

$$W = 5,4438 (A - 81,63)$$

Bu ýerde A – SO_3 -iň kükürt kislotasynyň suwly erginindäki ýa-da oleumdaky umumy mukdary, %; B – kükürt kislotasynyň suwly ergininde ýa-da oleumda H_2SO_4 -nyň mukdary, %; W – oleumda erkin SO_3 -iň saklanyşy, %.

Kristallaşma temperaturasy - kükürt kislotasynyň suwly erginleri we oleum 1-nji tablisada görkezilen birleşmeleriň garyndysydyr. Mysal üçin, 80 %-li kükürt kislotasy - bu $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ we $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -ň garyndysydyr. 20 % erkin SO_3 saklaýan oleum bolsa H_2SO_4 bilen $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$ -ň garyndysydyr.

1-nji tablisa

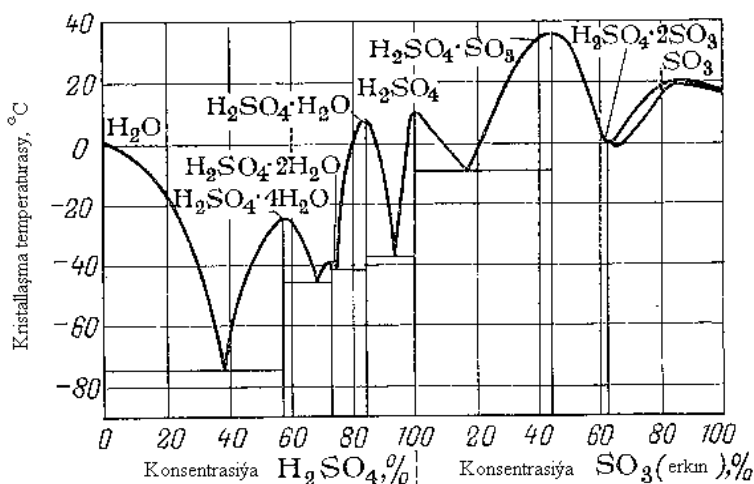
Kükürt kislotasynyň we onuň suw we SO_3 bilen birleşmesiniň kristallaşma temperaturasy

Birleşme	Düzümi, %			$T_{kr.}, ^\circ\text{C}$
	H_2SO_4	SO_3 (um.)	SO_3 (erkin)	
$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	57,6	46,9	–	– 28,36
$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	73,2	59,8	–	– 39,6
$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	84,5	69,0	–	8,48
H_2SO_4	100,0	81,6	–	10,37
$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$	110,1	89,9	44,95	38,15
$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{SO}_3$	113,9	93,0	62,0	1,2

Iki sany maddanyň garyndysynyň kristallaşma temperaturasy olaryň her haýsynyň kristallaşma temperaturasyndan pesdir (eger garyşan kristallar emele gelmeýän bolsa). Şonuň üçin, kükürt kislotasynyň kristallaşma temperaturasynyň onuň konsentrasiýasyna baglylygyny

aňladýan egri çyzygyň (1-nji surat) maksimumlary bolýar, olar 1-nji tablisada görkezilen birleşmeleriň düzümine laýyk gelýärler, şeýle hem olaryň minimumlary bolup, olar sistemada H_2SO_4 bilen SO_3 -ň şu gatnaşyklarynda bolýarlar:

$T_{\text{kr.}}, ^\circ\text{C}$	% H_2SO_4	$T_{\text{kr.}}, ^\circ\text{C}$	% SO_3 (erkin)
-72,2	38,0	-2,8	18,0
-44,6	68,3	+1,9	61,8
-29,5	75,0	-0,7	64,35
-27,0	93,3		

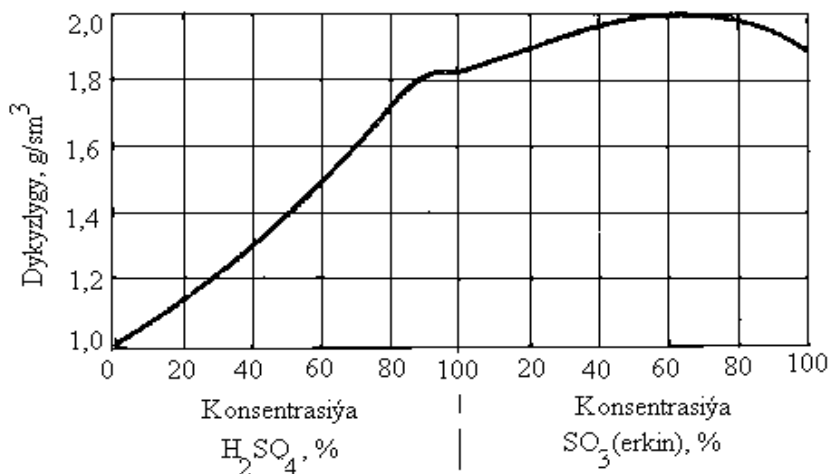


1 - nji surat. Kükürt kislotasynyň kristallaşma temperaturasy.

Dykyzlygy (2-nji surat). Kükürt kislotasynyň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy bilen kükürt kislotasynyň suwly ergininiň dykyzlygy artýar we 98,3 %-li H_2SO_4 -da maksimuma ýetýär, soňra biraz peselýär we 20 $^\circ\text{C}$ -da 100 % -li H_2SO_4 üçin 1,8305 g/cm^3 -a ýetýär. Oleumyň dykyzlygy SO_3 -ň mukdarynyň köpelmegi bilen ýokarlanýar, 62 % -li SO_3 (erkin) -de maksimuma ýetýär, ondan soň peselýär. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen H_2SO_4 -nyň dykyzlygy

peselýär. Suwsuz (100%-li) kükürt kislotasynyň dykzylygyny (g/sm^3) deňleme boýunça kesgitlemek bolýar:

$$\rho_t = 1,8517 - 1,1 \cdot 10^{-3} t + 2 \cdot 10^{-6} t^2$$



2 - nji surat. Kükürt kislotasynyň we oleumyň dykzylygy

Ýylylyk sygymy. Kükürt kislotasynyň ergininiň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy bilen onuň ýylylyk sygymy peselýär we suwsuz kükürt kislotasy üçin minimuma ýetýär. ($1,42 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$).

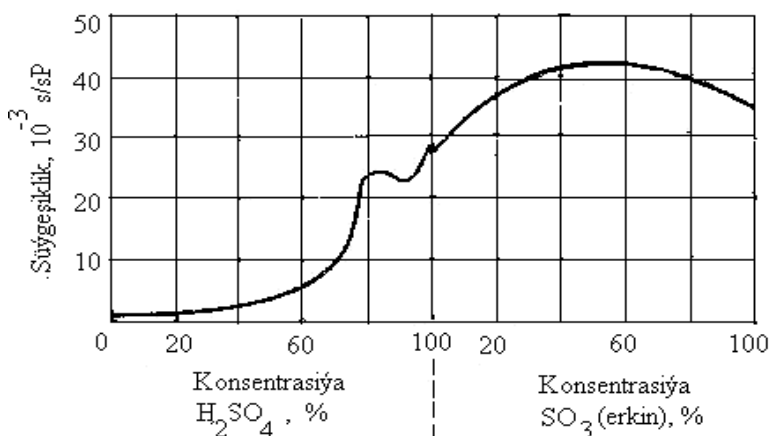
$\text{SO}_3(\text{erkin})$ –ň mukdarynyň köpelmegi bilen oleumyň ýylylyk sygymy ýokarlanýar. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kükürt kislotasynyň suwly erginleriniň we oleumyň ýylylyk sygymy hem ýokarlanýar.

Ýylylyk geçirijiligi. Konsentrasiýanyň köpelmegi we temperaturanyň peselmegi bilen H_2SO_4 -nyň ýylylyk geçirijiligi peselýär. Takmynan ol empirik deňleme arkaly kesgitlenip bilner. ($\text{Wt}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$)

$$\lambda = 0,518 + 0,0016 t - (0,25 + t/1293) (c/100)$$

t - kislotalyň temperaturasy, °C; c - kükürt kislotalyň konsentrasiýasy, %.

Süýgeşikligi. Süýgeşiklik köp tehniki hasaplamalarda hasaba alynýar, sebäbi kükürt kislotaly turbalardan geçirilende gidrawliki garşylyga düýpli täsir edýär, kükürt kislotaly gyzdýrylanda we sowadylanda ýylylyk geçirme prosesiniň tizligine, kükürt kislotalyndaky duzlaryň ereýiş tizligine täsir edýär.



3-nji surat. Kükürt kislotalyň we oleumyň süýgeşikligi (20 °C-da)

3-nji suratda kükürt kislotalyň suwly erginleriniň we oleumyň 20 °C-da süýgeşikligi görkezilen.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kükürt kislotalyň süýgeşikligi peselýär. Temperatura 20-den 80 °C-a çenli ýokarlananda 60 %-li kükürt kislotalyň süýgeşikligi 3 esse peselýär.

Elektrik geçirijiligi. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kükürt kislotalyň elektrik geçirijiligi peselýär. Bu baglylyk deňleme arkaly aňladylýar:

$$X_t = X_{18} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 18) + \beta \cdot (t - 18)^2]$$

Bu ýerde X_{18} , X_t – 18 °C-da we başga temperaturada kükürt kislotasynyň elektrik geçirijiligi; α , β – temperatura koeffisiýentleri.

Ýylylyk emele gelmesi. 298 K-de (25 °C) kükürt kislotasynyň we aralykdaky birleşmeleriň alnyşynyň reaksiýalarynyň ýylylyk, efektleri:

Reaksiýa	kJ/mol	kal/mol
$S_{(gaz)} \rightarrow S_{(romb.)}$	64,987	15,51
$S_{(romb.)} + O_{2(gaz)} \rightarrow SO_{2(gaz)}$	297,987	70,96
$SO_{2(gaz)} + \frac{1}{2} O_{2(gaz)} \rightarrow SO_{3(gaz)}$	96,114	22,94
$SO_{3(gaz)} \rightarrow SO_{3(suwuklyk)}$	39,805	9,50
$SO_{3(gaz)} + H_2O_{(gaz)} \rightarrow H_2SO_{4(gaz)}$	124,988	29,83
$H_2SO_{4(gaz)} \rightarrow H_2SO_{4(suwuklyk)}$	50,196	11,98
$H_2O_{(gaz)} \rightarrow H_2O_{(suwuklyk)}$	44,079	10,52
$SO_3 + H_2O_{(suwuklyk)} \rightarrow H_2SO_{4(suwuklyk)}$	131,1	31,29

Suwuklanma we garylma ýylylygy. Kükürt kislotasyna suw goşulanda suwuklanma ýylylygy Q_s bölünip çykýar, ol 1 kg 100%-li H_2SO_4 -na kJ-da aňladylýar we birnäçe usul bilen hasaplanylýar. Mysal üçin, ony kükürt kislotasynyň Q_2 we Q_1 ýylylyk emele gelmesiniň tapawudy boýunça (ahyrky konsentrasiýa C_2 we başdaky konsentrasiýa C_1).

Suwuklanma ýylylygy aşadaky deňleme arkaly kesgitleýäris :

$$Q_s = (Q_{int. 2} - Q_{int.1}) C_1$$

bu ýerde $Q_{int.2}$, $Q_{int.1}$ - integral ereme ýylylygy (başlangyç we ahyrky konsentrasiýaly kislota üçin).

Dürli konsentrasiýaly kislotalar garylanda garylma ýylylygy bölünip çykýar, ol şu deňleme arkaly hasaplanylýar:

$$Q_{\text{gar}} = Q_3(n_1 - n_2) - Q_1 n_1 - Q_2 n_2$$

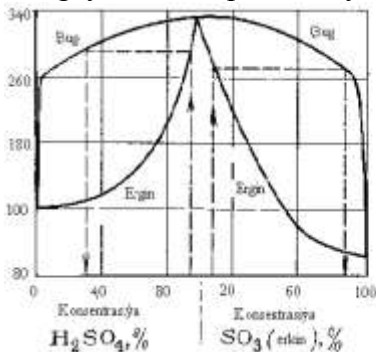
bu ýerde Q_1 , Q_2 , Q_3 – 100 %-li kükürt kislotasynyň başlangyç we ahyrky kislotalaryň konsentrasiýalaryna çenli suwuklanma ýylylygy, kJ/kg H_2SO_4 ; n_1 , n_2 – garmak üçin alnan kükürt kislotasynyň massasy, kg 100 %-li H_2SO_4 .

Kükürt angidridini suw bilen garmak usuly bilen oleum alnanda garylma ýylylygy bölünip çykyar, ol şu deňleme arkaly kesgitlenilýär:

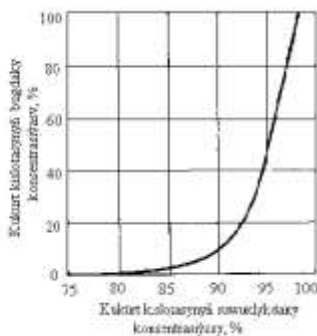
$$Q_{\text{gar}} = Q_{100} - Q_0$$

bu ýerde Q_{100} – 100 %-li kükürt angidridiniň tükeniksiz suwuklanma ýylylygy, kJ/mol SO_3 (kkal/mol SO_3); Q_0 – berlen konsentrasiýaly oleumyň tükeniksiz suwuklanma ýylylygy, kJ/mol kkal/mol SO_3).

Gaýnama temperaturasy we buguň basyşy. Kükürt kislotasynyň suwly erginleriniň konsentrasiýalarynyň ýokarlanmagy bilen olaryň gaýnama temperaturasy hem ýokarlanýar, 98,3 %-li kükürt kislotasynda maksimuma ýetýär (336,5 °C), soňra peselýär. Oleumyň gaýnama temperaturasy erkin SO_3 -ň mukdarynyň köpelmegi bilen peselýär, ýagny 0 % SO_3 -de 296,2 °C-dan 100 % SO_3 -de 44,7 °C-a çenli (ýagny, SO_3 -ň gaýnama temperaturasy).



4-nji surat. $0,98 \cdot 10^5$ Pa-da kükürt kislotasynyň gaýnama temperaturasy.

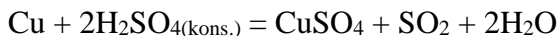


5-nji surat. Gaýnama temperaturasynda kükürt kislotasynyň üstündäki buguň düzümi.

Kükürt kislotasynyň suwly erginleriniň konsentrasiýalarynyň köpelmegi bilen erginiň üstünden buguň umumy basyşy peselýär we 98,3 %-li H_2SO_4 -nyňky minimuma ýetýär. Oleumyň konsentrasiýasy ýokarlandygyça, onuň üstünden buguň umumy basyşy artýar.

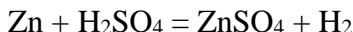
Kükürt kislotasynyň himiki häsiýetleri. Kükürt kislotasy has güýçli kislotalaryň biri. Iki esasly kislota hökmünde ol orta duzlary (sulfatlar) we turşy duzlary (bisulfatlar) berýär.

Konsentrlenen kükürt kislotasy kükürdiň atomynyň walentliginiň peselmeginiň hasabyna okisleýjilik häsiýeti ýüze çykarýar. Şonda, gaýtaryja baglylykda, kükürt kislotasy SO_2 -ä, S-e we H_2S -e çenli gaýtarylyp bilner:



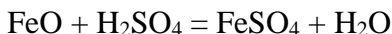
Sink bilen özara täsirleşende H_2SO_4 -nyň konsentrasiýasyna we temperatura baglylykda ZnSO_4 bilen bir hatarda SO_2 ýa-da S, ýa-da bolsa H_2S alynýar.

Suwuklandyrylan kükürt kislotasy diňe işjeň metallary okisläp bilýär. Mysal üçin, kükürt turşy sinki almak üçin şu reaksiýany ulanýarlar:

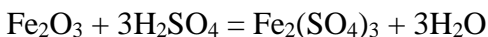


Emma, bu ýerde metalyň okislenmesi beýleki islendik kislota bilen bolşy ýaly, kükürdiň atomynyň üýtgemeginiň hasabyna däl-de, wodorod ionunyň gaýtarylmagynyň hasabyna bolup geçýär.

Kükürt kislotasynyň metallaryň oksidleri bilen özara täsirleşdirilmegine esaslanyp ulanylyşy dürli görnüşlidir. Mysal üçin, maşygurluşygynda demiri poslamadan aýyrýarlar:



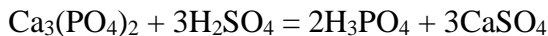
Şol usul bilen hem dürli görnüşli senagat sulfatlaryny alýarlar:



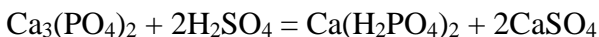
Demir we alýuminiý sulfatlary koagulyant hökmünde, mis sulfaty bolsa – mineral boýag we ösümlikleriň kesellemegine garşy göreşýän serişde hökmünde ulanylýar. Ikili sulfatlary ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) boýamakda, lak önümçiliginde, koagulyant hökmünde we beýl. ulanylýarlar.

Kükürt kislotasy ammiak bilen özara täsirleşdirilende alynýan ammoniý sulfaty bolsa dökün hökmünde peýdalanylýar. Bu proses koks gazy ammiakdan arassalanylanda ulanylýar.

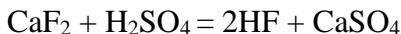
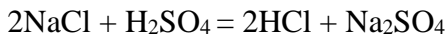
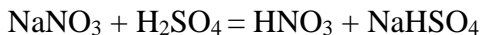
Kükürt kislotasyny has gowşak kislotalary duzlardan aýyrmak üçin ulanylýarlar:



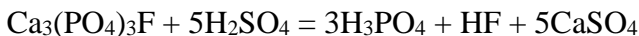
Bu maddalary başga gatnaşykda özara täsirleşdirip göniden-göni dökün (monokalsiýfosfatyň gips bilen garyndysy) alýarlar:



Kükürt kislotasynyň adaty şertlerde uçmaýanlygy netijesinde, ol duzlardan beýleki güýçli, uçýan kislotalary gysyp çykarýar:



Apatitden kükürt kislotasy täsirleşdirilip fosfor dökünleri alnanda bir wagtda fosfor, şeýle hem fluorlywodorod kislotalaryny aýyrýarlar:



Kükürt kislotasyny magdanlary - metallaryň dürli oksidleriniň kompleksini dargatmakda ulanýarlar. Ýokary konsentirlenen kükürt kislotasynyň suwy (suwuk we bug) işjeň birleşdirmäge ukyplylygy bilen baglanyşyklylykda ony gazlary guratmakda, azot kislotasyny konsentirlemekde ulanýarlar.

1.3. Kükürtli angidridiň häsiýetleri

Kükürtli angidrid (SO_2) (molekulýar massasy – 64,066) adaty temperaturada reňksiz mahsus ysly gaz. Ol atmosfera basyşda we $-10,1\text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli sowadylanda suwuklyga öwrülýär.

$20\text{ }^\circ\text{C}$ -da suwuk SO_3 -ň buglarynyň suwuk fazanyň üstünden basyşy $0,32\text{ MPa}$ we $50\text{ }^\circ\text{C}$ -da $0,8\text{ MPa}$.

$20\text{ }^\circ\text{C}$ -da suwuň bir göwrümünde SO_2 -niň 40 göwrümüne golaý ereýär; şonda $34,4\text{ kJ/mol}$ ýylylyk bölünip çykýar. SO_2 -niň suwdaky ereýjiligi temperaturanyň ýokarlanmagy bilen peselýär.

SO_2 -niň kükürt kislotasynda ereýjiligi suwdakydan pesdir. Kükürt kislotasynyň konsentrasiasynyň ýokarlanmagy bilen SO_2 -niň ereýjiligi başda peselýär, 85 %-li H_2SO_4 -a minimuma ýetýär, soňra ýene-de ýokarlanýar.

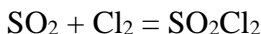
Katalizatoryň gatnaşmagynda SO_2 SO_3 -e okislenýär:



Suw bilen birleşip, ol şu aşakdaky birleşmäni emele getirýär:



Kükürt dioksidi hlor bilen özara täsirleşende sulfurilhlorid emele gelýär:



Himiki reaksiýalarda SO_2 hem okisleyji, hem-de gaýtaryjy bolup bilýär, aminler bilen kompleksi emele getirýär, suwly erginlerde gidrat $\text{SO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ görnüşinde bolýar.

Kükürt dioksidi aňsat suwuklanýan gaz. Suwuk SO_2 organiki däl we organiki birleşmeleriň köpüsini eredýär.

100 %-li SO_2 -ni suwuklandyrmak üçin konsentirlenen kükürt kislotasy guradylandan soň ony 0,414 Pa (4 at) basyşa çenli gysmak we sowatmak ýeterlikdir.

Suwuk kükürtli angidridi polat sisternalarda we ballonlarda saklaýarlar we transport edýärler.

1.4. Kükürt angidridiniň häsiýetleri

Kükürt angidridi (SO_3) adaty şertlerde – reňksiz gaz, howada suwuň buglary bilen özara täsirleşip ümür (howada kükürt kislotasynyň asylan görnüşli damjalary) emele getirýär. Gaz halyndaky SO_3 44,75 °C-da suwuklanýar, reňksiz suwuklyk emele gelýär. Gaty görnüşde SO_3 birnäçe formada bolup bilýär - α , β we γ . Olaryň ereme temperaturalary degişlilikde 16,8; 31,5 we 62,2 °C.

SO_3 -iň formalary biri-birinden kristallik gözenegiň gurluşy, buguň basyşy, himiki işjeňliligi we beýleki häsiýetleri bilen tapawutlanýarlar.

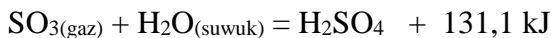
Kükürt angidridiniň buglarynyň basyşyny p (Pa-da) şu deňlemelerden kesgitlemek bolýar:

$$\lg p = 8,7820 - 154,9/T - 331650/T \text{ (suwuk } \alpha \text{ – forma)}$$

$$\lg p = 14,3595 - 2916/T - 331650/T \text{ (gaty } \alpha \text{ – forma)}$$

$$\lg p = 14,6865 - 3040/T - 331650/T \text{ (gaty } \beta \text{ – forma)}$$

SO_3 suw bilen gowy garylýar we köp mukdarda ýylylyk bölünip çykýar:



SO_3 güýçli okisleýji. Ol kükürdi, fosfory, uglewodorody we beýleki käbir maddalary okislap SO_2 –ä çenli gaýtarylýar.

Suwuk angidrid SO_2 bilen ähli gatnaşyklarda garyşýar, gaty kükürt angidridi suwuk SO_2 –de ereýär, onuň bilen himiki birleşmäni emele getirenok.

Gaz halyndaky SO_3 şeýle hem hlörly wodorod bilen täsirleşýär.

1.5. Kükürt kislotasynyň görnüşleri

Senagat kükürt kislotasynyň birnäçe görnüşlerini çykarýar, olar H_2SO_4 bilen $\text{SO}_{3(\text{erkin})}$, şeýle hem goşundylaryň saklanyşy bilen tapawutlanýarlar.

Nitroza usuly bilen az konsentirlenen (75 % H_2SO_4) kükürt kislotasyny alýarlar. Kontakt usuly bilen bolsa islendik konsentrasiýaly kislotany alyp bolýar.

2-nji tablisa

Kükürt kislotasynyň görnüşleri

Kislotanyň görnüşü	% H_2SO_4	% SO_3 (erkin)	T, kr., °C
Minara (başnýa) kislotasy	75	–	–29,5
Kontakt kislotasy	92,5	–	–22,0
Oleum	104,5	20	+2
Ýokaryprosentli oleum	114,6	65	–0,35

Garyndylaryň mukdary we düzümi kükürt kislotasynyň alnyş usulyna bagly. Mysal üçin, minara (başnýa) usuly bilen alnanda oňa tozanyň bölejikleri düşýär. Ondan başga-da, ol erän azot oksidlerini saklaýar. Şeýle hem apparaturanyň korroziýasynyň önümleri bilen hapalanyp biler (olar kükürt kislotasynda ereýärler).

1.6. Kükürt kislotasynyň saklanyşy we daşalyşy

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde taýýar önüm üçin ýörite ammar bolýar. Kükürt kislotasy baklarda saklanylýar. Ol göwrümi 5000 m³-a çenli bolan gorizontaly ýa-da wertikal ýerleşdirilen polatdan ýasalan silindrik gap. Ammarda kükürt kislotasyny talap edilýän konsentrasiýada taýýarlamak üçin garyjylar ýerleşdirilýär.

Kükürt kislotasynyň daşalyşy. Kükürt kislotasyny ulanylyşyna laýyklykda dürli ululykdaky gaplara guýýarlar. Uzak ýerlere kükürt kislotasyny demirýol sisternalarda (göwrümi 60 t-a çenli bolan) daşýarlar. Ýakyn ýerlere ibermek üçin awtosisterna, konteýner, polat boçkalar (göwrümi 0,2-den 1 t-a çenli) ýa-da aýna gaplar ($V=30-45l$) ulanylýar; akkumulýator we reaktiw kislotalary 1 litr göwrümlü çüýşelere guýýarlar.

1.7. Apparatura üçin konstruksiýa materiallar

Kükürt kislotasynyň korroziýa aktiwligi onuň konsentrasiýasyna, temperaturasyna we garyndylara bagly. Mysal üçin, azot oksidleriniň bolmagy kükürt kislotasynyň uglerodly poladyň korroziýa täsirini peseldýär, SO_2 bolsa, tersine H_2SO_4 -ň korroziýa aktiwligini ýokarlandyrýar.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde, şeýle hem ol konsentrlenenende kislota erginlerindäki H_2SO_4 -ň mukdary tehnologiýa prosesiniň dürli stadiýalarynda üýtgäp durýar. Mysal üçin, kükürt kislotasynyň önümçiliginde kontakt usuly boýunça

0-10 %, çyglandyryjy başnýada 104,5 % H_2SO_4 ýa-da absorbsion bölümde SO_3 (erkin) 20 % – e ýetýär. Önümçilik prosesinde kükürt kislotasynyň temperaturasy hem üýtgäp durýar: 1000 °C-a çenli gaýnaýan gatlakly (GG) peçlerde, kontakt bölümünde 500 °C-a çenli we arassalaýan we absorbsion bölümde 50 °C-a çenli.

Himiýa apparaturasyny ýasamak üçin materiallar saýlanyp alnanda olaryň diňe bir korroziýa durnuklylygy däl-de, ýokary temperatura çydamlylygy, materialyň elýeterliligi hasaba alynýar.

Eger, gara metallar korroziýa durnukly bolsa, onda ilki bilen şol materiallar ulanylýar, sebäbi olar has elýeterli we arzandyr. Köplenç legirlenen gara metallar (legirleýji goşundylar goşulýar) ulanylýar. Kükürt kislotasy senagatynda metal däl materiallar has giňden ulanylýar, sebäbi olaryň köpüsi kükürt kislotasynyň täsirine çydamly bolýar.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde esasy apparatlaryň ählisi diýen ýaly polatdan we çöýundan ýasalýar, köp halatlarda iç ýüzi kislota durnukly materiallar – keramika, organiki kislota durnukly örtgüler bilen örtülýär.

1.7.1. Metallar we splawlar

Metallaryň korroziýa durnuklylygy 10 bally şkala (durnuklylyk klasy) boýunça (TDS 5272-50) kesgitlenilýär :

3-nji tablisa

Metallaryň korroziýa durnuklylygy

Durnuklylyk klasy	Durnuklylyk klasynyň häsiýetlendirilişi	Korroziýa tizligi, mm/ýyl	Ball
1	2	3	4
I	Düýdünden durnukly	0,001	1
II	Örän durnukly	0,001 – 0,003	2
		0,005 – 0,01	3

1	2	3	4
III	Durnukly	0,01 – 0,05 0,05 – 0,1	4 5
IV	Pes durnukly	0,1 – 0,5 0,5 – 1	6 7
V	Az durnukly	1 – 5 5 – 10	8 9
VI	Durnuksyz	10	10

Polat – H_2SO_4 polada täsir edende emele gelýän demir sulfaty kükürt kislotasynda ereýär, şonuň üçin hem poladyň korroziýa durnuklylygy pes bolýar. Demir sulfaty oleumda kyn ereýär, şonuň üçin oleumyň 15 % SO_3 (artk.) konsentrasiýasynda polat durnuklydyr. Ondan oleum absorberi, ýygnaýjylar, sowadyjylar, şeýle hem geçirijiler ýasalýar.

Çoýun – polada garaňda has durnuklydyr, şoňa görä ondan kislota sowadyjylar, armatura (kran, wentil) ýasalýar. Çoýunyň durnuklylygy oňa hromuň, margansyň we beýl. köp bolmadyk goşundylary goşulanda has ýokarlanýar. Çoýun oleumyň täsirine çydamly bolýar, emma uzak wagtyň dowamynda täsir edende jaýrylýar.

Gurşun – az konsentrlenen kükürt kislotasynda durnukly, sebäbi ýüzünde emele gelýän gurşun sulfatynyň goraýjy gatlagy, şol kislotada eremeýär, ol metalyň dargamagynyň önüni alýar. Konstruksion kükürt kislotasynda gurşun sulfaty gowy ereýär.

Alýuminiý – kükürt kislotasynyň dürli konsentrasiýalaryna, şeýle hem oleuma we kükürt anhidridine durnukly. Goşundylary bolan alýuminiý (umumy mukdary 0,2 – 0,5 %), adaty temperaturada 20 %-li H_2SO_4 -a durnukly. Kükürt kislotasynyň metala täsiri temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artýar, şonuň üçin hem prosesiniň temperaturasy tehnologiýa reglamentde bellenen çäklerden ýokary geçmeli däldir.

Splawlar – kükürt kislotasynyň önümçiliginde we ol konsentrlenende - ferrosilid we poslamaýan polat (hrom,

molibden, nikel we beýleki legirleýji goşundyly) splawlar ulanylýar.

Ferrosilidiň takmynan düzümi, (%):

Fe	80 – 85	Ni	2,5
Si	13 - 17	C	1,3
Mn	2 - 5		

Ol dürli konsentراسiýaly H_2SO_4 -nyň täsirine durnukly, emma, oleumyň täsirine jaýrylýar.

Ferrosilidden nasoslar, turbalar, kranlar ýasalýar.

Ýokary temperaturada konsentrirlenen kükürt kislotasynda X28L hromly çoýun (28% Cr; L – guýulýan çoýun) durnuklydyr. Hromly çoýundan guradyjy kislota, monogidrat we oleum üçin nasoslary ýasaýarlar.

Poslamaýan polat. Kükürt kislotasynyň önümçiliginde dürli görnüşli poslamaýan hromnikelli polatlar giňden ulanylýar, olaryň düzümi aşakda görkezilýär (% – de):

Marka	Gr	Ni	Mo	Ti
X17H13M2T	17 – 19	11 – 13	1,8 – 2,5	0,3 – 0,6
X18H10T	17 – 19	8 – 10	-	0,3 – 0,6
X17	17	-	-	-

X – hrom, H – nikel, M – molibden, T – titan, D – mis,
C – kremniý, B – niobiý, A – azot, T – marganes, 10 – alýuminiý,
B – wolfram, Φ – wanadiý.

1.7.2. Himiki durnukly organiki däl materiallar

Olara tebigy minerallar we dag jynslary granit, andezit beştaunit, kwarsit, asbest, pirofillit we beýl. degişli. Tebigy kislota durnukly materiallar birnäçe minerallardan ybaratdyr. Materiallaryň himiki durnuklylygy olaryň düzümindäki kremnezýoma bagly. Tebigy kislota durnukly materiallar

áýratyn önüm görnüşinde (minaralaryň, apparatlaryň we olaryň detallarynyň futerowkasy üçin daşlar) ulanylýar. Örtgi daşlar – biri-birine kislota durnukly sement bilen berkidilýär. Baglaýjy hökmünde has giňden ýaýrany – silikatly kislota durnukly sementlerdir. Olar suwuk aýna (natriý silikatynyň suwly ergini), ownuk üwelen inert kislota durnukly – dolduryjy (andezit, diabaz, kwarsit we b.) we tutluşma we gatama prosesini tizleşdiriji (natriý kremneftorid) garyşdyrylyp alynýar. Soňky wagtlar kislota durnukly ($800\div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çydamly) beton ulanylýar. Kükürt kislotasynyň önümçiliginde gazyň suwarýan suwuklyk bilen täsirini gowulaşdyrmak üçin dürli görnüşli keramikadan we farfordan ýasalan goýumlar ulanylýar. Şol materiallardan kislota geçirijileri, kranlary we b. ýasaýarlar.

Soňky ýyllarda aýna we syrçаланан enjamlar giňden ulanylýar.

Syrçaly (emal) örtgüler dürli temperaturada islendik konsentrasiýada bolan kükürt kislotasynyň täsirine durnukly bolýar, agressiw gazlar bolsa syrçaly örtgini dargadanok.

1.7.3. Himiki durnukly organiki materiallar

Köp halatlarda himiki durnukly organiki materiallar sintetiki polimer maddalardyr. Konsentriřlenen kükürt we azot kislotaşy olary dargadýar, emma, suwuklandyrylan kükürt kislotasýnda bu materiallar örän durnuklydyr.

Faolit - fenol-formaldegid smolanyň esasynda kislotaçydamly plastmassa, dolduryjy hökmünde asbest, grafit, dag ýa-da derýa çägesi we başg. saklaýar. Faolitden kislota ýygnaýjylar, nasoslar, kranlar, turbalar we beýl. ýasalýar. Kükürt kislotasynyň sredasynda faolitiň durnuklylygy onuň temperaturasyna we konsentrasiýasyna bagly bolýar. Faoliti ulanmagyň temperatura çägi $150\text{--}170\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Winiplast - poliwinilhloridden alýarlar: $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturada ol konsentrasiýasy 80 %-e çenli bolan kükürt

kislotasynyň täsirine durnukly. Winiplastdan plitalar, turbalar, wentiller we beýl. ýasalýar.

Poliizobutilen - kauçuga meňzeş polimer. Antikorrozion örtgi hökmünde molekulýar massasy 200000 bolan polimer material ulanylýar. 100 °C-da poliizobutilen maýyşgak bolýar, 180-200 °C-da ol aňsat gaplanýar, 350-400 °C-da bolsa, dargaýar. Poliizobutileniň ýetmezçiligi – otag temperaturasynda onuň akmaga ukyplylygydyr. Poliizobutilen 96 %-li kükürt kislotasyna 20 °C-da, 90 %-li kükürt kislotasyna - 40 °C-da we 80 %-li kükürt kislotasyna – 60 °C-da durnukly. Poliizobutilenden apparatlary korroziýadan goramak üçin ulanylýan listleri, turbalaryň antikorrozion örtgisi üçin şlangalary we güýçli agressiw sredalar üçin turbageçirijilerde flaneş birleşmeleri dykyzlandyrmak üçin aralygyna goýulýan plastinalary ýasaýarlar.

Ftoroplast - kükürt kislotasynyň we beýleki agressiw sredanyň täsirine, ýokary we pes temperatura şertlerine has durnuklylygy bilen tapawutlanýar. Ol turbalary, klapanalary, wentilleri we beýl. taýýarlamakda ulanylýar.

2. KÜKÜRT KISLOTASYNY ALMAK ÜÇİN ULANYLYÁN ÇIG MALLAR

Kükürt kislotasyny almak üçin elementar kükürt ýa-da elementar kükürdi ýa-da kükürt dioksidini alyp boljak kükürt saklaýan maddalar ulanylýar.

Tebigatda kükürt köplenç demir, sink, gurşun, mis we beýl. metallar bilen birleşmeleri görnüşinde duş gelyär. Käbir minerallarda kükürt iki metal bilen birleşen görnüşinde bolýar, mysal üçin, mis kolçedany (halkopirit) kükürdiň demir we mis bilen birleşmesidir. Şeýle hem kükürt tebigatda sulfat, mysal üçin, gips görnüşinde (kalsiý sulfaty), mirabilit (natriý sulfaty), glauberit (natriý we kalsiý sulfaty) we beýl. görnüşinde bolýar. Kükürt ýer gabygynyň umumy 0,1 %-ni düzýär. Kükürt ondan başga-da nebitde, daş kömründe, ugurdaş we tebigy gazlarda saklanýar.

Daş kömri kokslananda ondaky bar bolan kükürt kükürtwodoroda geçýär (ol koks gazynyň düzümine girýär). Kükürtwodorod şeýle hem generator gazlarda, ugurdaş nebit gazlarynda we tebigy gazlarda bolup biler we ol zyýanly goşundy hasaplanylýar. Kükürt dioksidiniň köp bölegi metallurgiýa peçleriniň zyňyndy gazlarynda saklanýar. Kömür gazylyp alnanda ugurdaş kömürli kolçedan hem alynýar. Kömürli kolçedan şeýle hem kükürt kislotasyny öndürmekde çig mal bolup biler. Şol maksatlar üçin kükürt kislotasyny ulanýan önümçilikleriň galyndylaryny hem ulanmak bolýar. Olara, mysal üçin, gudronlar, zäherleýji erginler, fosfogips we beýl. degişli.

2.1. Kükürt kolçedany

Kükürt kolçedanyynyň esasy düzüji bölegi demir sulfididir FeS_2 (53,44 % S we 46,56 % Fe). Ol mineral pirit we seýrek markazit (minerallaryň düzümi birmeňzeş, emma kristallaryň formasy bilen tapawutlanýarlar) görnüşinde duş

gelyärler. Tebigy kükürt kolçedany FeS_2 -den başga-da mis, sink, gurşun, myşýak, nikel, kobalt, selen, wismut, tellur, kadmiý, kalsiý karbonaty we sulfaty, magniý birleşmeleriniň, altynyň we kümüşiň we beýl. köp bolmadyk goşundylaryny saklaýarlar. Kolçedanda mis (mis kolçedany) CuFeS_2 , (mis öwüşgini) Cu_2S we CuS görnüşinde, sink ZnS (sink obmankasy), myşýak bolsa, FeAsS (myşýakly kolçedan) görnüşinde we başg. bolýar.

Kükürt kolçedany - sarymtyl ýa-da sarymtyl – çal reňkli mineral, onuň dykzylygy 5000 kg/m^3 . Kolçedanyň ýataklary Russiýada (Ural, Kawkaz), Ispaniýa, Ýaponiýa, Kanada, Portugaliýa, Italiýa, Norwegiýa we başg. ýurtlarda ýerleşýär. Reňkli metallary almak üçin kolçedanyň flotasiýasy geçirilýär.

Flotasion kolçedanda $32 \div 40 \%$ kükürt saklanýar. Kolçedanyň ikilenji flotasiýasyndan soň piritli konsentrat alynýar. Ol $45 \div 50 \%$ S saklaýar.

Kömür kolçedany. Käbir daş kömürler köp mukdarda kükürt kolçedanyny saklaýar. Ol 18% -e golaý uglerod saklaýar. Uglerody azaltmak üçin kömürli kolçedany baýlaşdyrýarlar. Baýlaşdyrylandan soň ol $3 \div 6 \%$ C saklaýar. Kömür kolçedany ýakylanda SO_2 bilen bir wagtda kükürtwodorod, kükürt uglerod, elementar kükürt (az mukdarda) emele gelýär. Bu goşundylar kükürt kislotasyny almagyň prosesine täsir edenoklar. Kömür kolçedany gaýnaýan gatlakly peçde ýakylanda kynçylyk döredenok.

2.2. Reňkli metallurgiýanyň gazlary

Mis, sink, gurşun magdanlary we konsentratlary (şeýle hem beýleki reňkli metallary saklaýan magdanlar) ýakylanda zyňylýan gazlar we gaty galyndy — kül (ol reňkli metallary almak üçin gaýtadan işlemäge berilýär) emele gelýär. Zyňyndy gazlaryň düzüminde SO_2 saklanýar, ol kükürt kislotasyny almakda çig mal bolup hyzmat edýär. Reňkli metallurgiýanyň zyňyndy gazlaryny ulanmagyň uly ähmiýeti bar, mysal üçin,

misiň bir tonnasyndan 10 t kükürt kislotasyny (kükürt saklaýan çig maly ýakmaga çykdaýjy etmezden) alyp bolýar. Reňkli metallurgiýanyň magdanlaryny ýakmaklyk ýakma, wateržaket, konwertor, gaýnaýan gatlakly peçlerde amala aşyrylýar.

2.3. Kükürt

Elementar kükürt - kükürt kislotasynyň önümçiligi üçin gowy çig mallaryň biri bolup durýar. Ol ýakylanda köp mukdarda SO_2 we kislorod saklaýan gaz emele gelýär, galyndy galanok. Soňky ýyllarda köp mukdarda kükürtwodorod saklaýan tebigy gazlardan kükürt kislotasynyň öndürilişi aýratyn ösüşe eýe boldy.

Kükürt kislotasynyň önümçiligi we beýleki önümleri almak üçin çig mal hökmünde ulanylýan kükürt onuň tebigy ýataklaryndan (ýer gabygynda 0,03 % kükürt), tebigy gazlaryň düzümindäki kükürtwodoroddan, nebiti gaýtadan işlemegiň gazlaryndan, generator we koks gazlaryndan, sulfid magdanlaryndan we kükürt dioksidinden alynýar. Bu wajyp kükürt saklaýan çig malyň umumy gorlary kükürt kislotasy senagatynyň oňa bolan talaplaryndan has ýokarydyr.

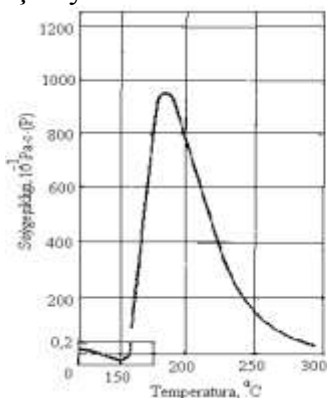
Kükürdiň häsiýetleri. Adaty temperaturada kükürt gaty görnüşde bolýar. Şonuň ýaly kükürt iki sany allotrop - romb we monoklin formada bolýar. Olaryň häsiýetleri aşakda görkezilýär:

	Romb formada	Monoklin formada
Dykyzlygy, kg/m^3	2070	2060
Durnuklylyk çäkleri, °C	95,4-den pes	95,5 – 119,0
Temperatura, °C:		
ereme	112,8 (çalt gyzdý- rylanda)	118,9
gaýnama	444,6	444,6
Ereme ýylylygy, J/g	32000	38600

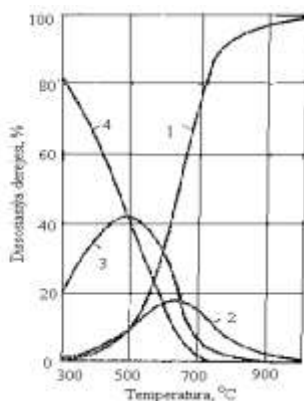
Kükürdiň ýylylyk geçirijiligi pes, elektrik togy gowy geçirenok, suwda eränok. Kükürdiň eremesi onuň göwrüminiň köpelmegi bilen geçýär. 120 °C-da erän kükürt sary aňsat süşýän suwuklyk, 155 °C-da minimal ululyga ýetýär (6-njy surat). 1600 °C-dan ýokary temperaturada we 190 °C-da goýy-goňur süýgeşik massa öwrülýär. Temperaturanyň ondan soňky ýokarlanmagy bilen massanyň süýgeşikligi ýene-de peselýär we 300 °C töwereginde kükürdiň ergini aňsat süşýän görnüşe gelýär.

Kükürdiň häsiýetleri gyzdyrylanda onuň molekulalarynyň gurluşynyň üýtgemegi netijesinde üýtgeýär. Adaty şertlerde kükürdiň molekulalary sekiz atomdan (S_8) ybarat.

Kükürdiň buglarynda S_8 , S_6 , S_4 we S_2 molekulalar bolýar (7-nji surat), temperaturanyň ýokarlanmagy bilen S_2 molekulalaryň sany köpeliýär, şonda buguň reňki üýtgeýär. Gaýnama temperaturasyna golaý kükürdiň buglary mämişisary reňkde bolýar, has ýokary temperaturada 650 °C-da saman-sary reňkde bolýar. 900 °C töwereginde buglar diňe S_2 molekuladan ybarat; atamlara dargamasy takmynan 1600 °C-da başlanýar.



6-njy surat. Dürli temperaturada kükürdiň süýgeşikligi.



7-nji surat. Kükürdiň buglarynyň dissosiasiýa derejesiniň temperatura baglylygy:
1 – S_2 ; 2 – S_4 ; 3 – S_6 ; 4 – S_8 .

Kükürt S (atom massasy 32,06) belli bir şertlere baglylykda köp görnüşli fiziki we himiki häsiýetleri ýüze çykarýar. Kükürdiň himiki häsiýetiniň köpdürlüligi we himiki işjeňliligi ilki bilen onuň hem dikeldiji, hem-de okisleýjilik häsiýetleri ýüze çykarmaga ukyplylygy bilen baglanyşykly (onuň walentliligi -2-den +6-a çenli üýtgeýär). Fiziki häsiýetleriniň köpdürlüligi bolsa onuň molekulalarynyň temperatura we beýleki şertlere baglylykda ýerleşşi boýunça tapawutlanýan dürli sanly atomlardan ybarat bolup bilýänligidir. Ondan başga-da, gaty halda kükürt dürli sistemalaryň kristallaryny berip bilýär.

95,6 °C-dan pes temperaturada gaty kükürt romb sistemasynda kristallaşýan S_{α} görnüşinde has durnuklydyr. Tebigy kükürt tutuş diýen ýaly sary reňkli romb görnüşinde duş gelýär. 95,6÷119 °C-da monoklin sistemada kristallaşýan S_{β} görnüşinde has durnukly. Romb şekilli kükürdiň dykzlygy 20 °C-da 2,07 g/sm³. Eredilen kükürt sowuk suwda tiz sowadylanda S_{μ} görnüşli plastiki (amorf) kükürt alynýar.

Kükürdiň elektrik geçirijiligi we ýylylyk geçirijiligi örän pesdir. Gaty kükürdiň ýylylyk sygymy 0,67÷0,75 kJ/kg (0,16÷0,18 kkal/kg), suwuk 115,21 °C -da — 0,99 kJ/kg (0,23624 kkal/kg).

Suwda kükürt eränok, kükürtuglerodda (amorfda başgasynda) gowy ereýär we beýleki organiki birleşmelerde – toluolda, benzinde, asetonda, daş kömür smolasynda, bromly etilde we b. gowy eränok. Adaty temperaturada eredijilerde kükürt S_8 halka görnüşinde bolýar.

119 °C-da we normal basyşda gaty görnüşde kükürt bolanok; 110 °C-dan pes temperaturada we şol basyşda bolsa suwuk kükürt bolýan dälidir. 119 °C-da monoklin kükürt ýylylygyň ýuwdulmagy bilen S_{λ} (suwuk – 1236 kJ/mol (295 kkal/mol) geçýär.

112,8 °C-da romb şekilli kükürt ereýär we saman reňkli suwuklyga öwrülýär. Suwuk kükürdiň süýgeşikligi

0,01÷0,0078 Pa·s. Suwuk kükürdiň ýylylyk sygymy deňleme boýunça kesgitlenilýär:

$$C_p = 1,84 - 1,95 \cdot 10^{-3} T$$

Bug emele getirme ýylylygy 444,6 °C-da we normal basyşda 288,1 kJ/kg (68,6 kkal/kg) deň. 155÷160 °C-dan başlap suwuk kükürt goňur reňke geçýär we onuň süýgeşikligi artýar, 200 °C-da erän kükürt goňur we süýgeşik (smola meňzeş) bolýar.

Temperaturanyň ondan soňky ýokarlanmagy bilen süýgeşikligi peselýär we 400 °C-da ýeňil süýşýän massa öwrülýär, 444,6 °C-da we normal basyşda bolsa ol gaýnaýar.

Deňagramlylyk şertlerinde kükürdiň buglary S₂, S₆, we S₈ molekulalardan durýar. Gaýnama temperaturasynda buglary 3,8 % (göwr.) S₂, 54,6 % S₆ we 41,6 % S₈ saklaýar.

120÷325 °C aralygynda suwuk kükürdiň buglarynyň basyşy deňleme arkaly ýazylýar:

$$\lg p = 16,825 - 0,0062238T - \frac{5405,1}{T}$$

$$325 \div 550 \text{ °C aralygynda} \quad \lg p = 9,5587 - \frac{3268,2}{T}$$

Kükürdiň oksidleri we kislorodly kislotalar. Kükürt 4 sany normal oksidleri emele getirýär: kükürdiň üç oksidi SO₃ we kükürt dioksidi SO₂, kükürdiň bir ýarym oksidi S₂O₃ we kükürt monooksidi SO. Ondan başga-da kükürt iki sany perekisi emele getirýär: kükürdiň ýedi oksidi S₂O₇ we tetraoksidi SO₄.

Kükürdiň şu aşakdaky kislodorodly kislotalary we onuň duzlary bar:

Kislota:

Duzlary:

$H_2S_2O_3$ - tiokükürt (durnuksyz)	$M^1_2[S_2O_3]$ - tiosulfatlar
$H_2S_2O_2$ – tiokükürtli	$M^1_2[S_2O_2]$ -sulfoksilatlar
$H_2S_2O_4$ - ditiokükürtli	$M^1_2[S_2O_4]$ - ditionitler
$H_2S_3O_6$ - trition	$M^1_2[S_2O_6]$ - ditionatlar
$H_2S_4O_3$ - tetration	
$H_2S_5O_6$ - pentation	
$H_2S_6O_6$ - gekstation	
$H_2S_xO_3$ - polition	$M^1_2[S_xO_6]$ - politionatlar

2.3.1. Tebigy magdandan alynýan kükürt

Tebigy magdan kükürdiniň gollary boýunça birinji ýerde Yrak (335 mln.t., magdanda kükürdiň saklanyşy 23 %), ikinji ýerde ABŞ – Tehas, Luiziana, Kaliforniýa, Newada (150 mln.t.), ondan soň Çili (100 mln.t.), Meksika (80 mln. t/). ABŞ, Meksika, Italiýa, Palestina, Ispaniýadaky kükürdiň ýataklary çökündi görnüşlidir, olar kükürdiň umumy gollarynyň 70 %-e golaýyny saklaýarlar.

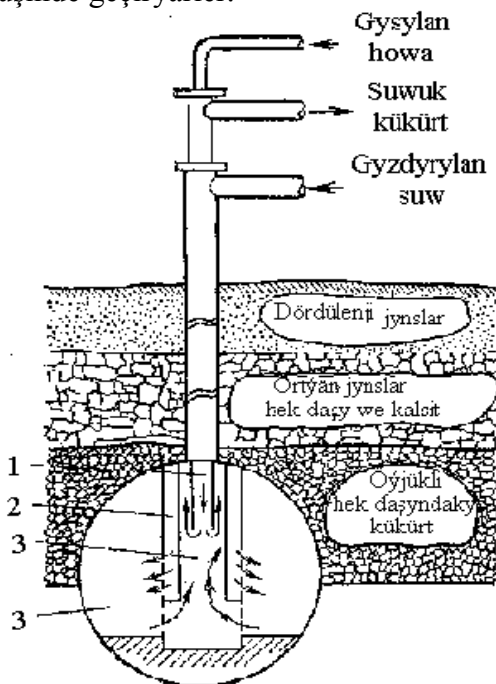
Wulkanogen gelip çykyşly kükürt ýataklaryna Gündogar Amerikanyň Günbatar kenarýakasy (Çili, Boliwiýa, Peru), şeýle hem Ýaponiýa, Filippin adalary, Kamçatka, Kuril adasy we ş.m. degişli.

Magdanlardan kükürdi almagyň has amatly usuly – kükürdi ýerasty eretmek usulydyr (KÝE). Ol ilkinji gezek ABŞ-da (Fraş usuly) amala aşyrylýar. Bu usulda kükürdi ýörite enjamlaşdyrylan skwažina arkaly alynýan gyzdyrylan suw bilen gös-göni onuň ýataklarynda (ýerleşýän ýerinde) eredýärler, soňra bolsa suwuk görnüşinde ýeriň üstüne gysylan howa bilen gysyp çykarýarlar. Onuň üçin turbalaryň biri boýunça basyş astynda suw, beýlekisine – gysylan howa berilýär. Şonda aerogaryndy emele gelýär, ol turbalaryň

arasyndaky halkaly giňişlik, boýunça ýokaryk galýar. 160 °C-dan ýokary temperaturada kükürdiň süýgeşikliginiň tiz ýokarlanýanlygy üçin suw skwažina 120÷159 °C-da (0,6÷0,7 MPa) berilýär. Bu usul magdanyň önünden gazylýp alynmagyny we onuň baýlaşdyrylmagynyň zerurlygyny aradan aýyryar.

Fraş usuly boýunça has arzan kükürt alynýar, emma onuň ýerleşýän yerinden bölüp almagyň derejesi 30 ÷ 60 %-e ýetýär.

Magdanyň ýerleşşi gowy bolan ýagdaýynda kükürdi ýerasty eredip almak usuly boýunça bölünme derejesi 70 %-e ýetýär. Bölünme derejesi 40 %-den az bolsa kanagatlnarsyz hasap edilýär. Alynýan önüm 99,5÷ 99,9 % kükürt saklaýar. Şonuň ýaly usul bilen alynýan kükürdi ulanylýan ýerlere suwuk görnüşinde geçirýärler.



8-nji surat. Fraş usuly boýunça kükürdiň alnyş prosesiniň shemasy:

1 – gysylan howa; 2 – gyzdyrylan suw; 3 – suwuk kükürt.

Kükürdiň çökündi görnüşli has iri ýataklary öň Sisiliýa adasynda bolupdyr. Günbatar Ukrainada (Rozdolsk, Ýaworowsk we b.), şeýle hem Polşada kükürdiň ýataklary bar. Magdan 20÷22 % elementar kükürdi saklaýar, galan bölegini – toýun we gips goşundyly kalsiý karbonaty düzýär.

Kükürdiň ýataklary çuňlugy we ýerleşişiniň häsiýeti boýunça tapawutlanýarlar. Kükürt senagatynyň uzak wagtlap ösüş döwründe magdandan kükürdi bölüp almagyň usuly we tehnikasy uly üýtgeşikliklere sezewar boldy.

Daşary ýurtlarda kükürdi esasan ýerasty eretmek usuly boýunça alýarlar, öňki SSSR-de bolsa gazyp almagyň açyk usuly we gaýtadan işlemegiň flotasion-awtoklaw usuly giňden ýaýran. Çig mal hökmünde 70 % kükürt saklaýan kükürt konsentraty ulanylýar, ol baýlaşdyryjy fabrikada flotasion usuly bilen alynýar.

Awtoklaw usuly. Kükürt konsentraty baýlaşdyryjy fabrikadan aýratyn goýaltmaga (suwsuzlandyrmak) berilýär, ol ýerde konsentraty goýaldyjylar boýunça ýaýradýarlar, olara poliakrilamidiň we krahmalyň gidrolizlenen ergini berilýär. Konsentrat goýaltmagyň iki stadiýasyny geçýär. I stadiýadan nasos bilen II stadiýanyň goýaldyjysyna geçýär. II stadiýadan dökmeklik suwsuzlandyrmagyň I we II stadiýalarynda goýaldylan konsentrat kollektora berilýär, deňleşdirilýär we nasos bilen skrubbere berilýär, ol ýerde ol buggazly zyňyndylar bilen 40÷60 °C-a çenli gyzdyrylýar, soňra gyzdyrylan konsentratyň kollektoryna ugradylýar we awtoklaw boýunça ýaýradylýar.

Konsentratlary awtoklaw yzly-yzyna iki liniýa boýunça ýükleýärler. Gyzdyrylan konsentratyň we ýörite reagentleriň (durlaýjy kerosin, natriý tripolifosfatyň ergini, suwuk aýnanyň ergini) ýüklenme prosesinde, olar eretmegiň awtoklaw usulynda konsentratdan kükürdiň bölünmegine ýardam berýär, awtoklaw gyzdyrylan bug – kükürdiň gerek bolan ereme temperaturasy alynýança berilýär. Konsentrat

eredilende awtoklawyň aşaky böleginde suwuk kükürdiň gatlagy emele gelýär, onuň ýokarsynda boş magdanyň suspenziýasy ýerleşýär.

Kükürdi awtoklawdan artykmaç $0,20 \div 0,25$ MPa basyş astynda iňne ýaly gysygy arkaly dökýärler we gyzdyrylýan kükürt geçiriji baklara berilýär, ol ýerden nasoslar arkaly mehaniki çökdürijilere geçirýärler. Çökdürijiden kükürt gyzdyrylýan kükürt geçiriji boýunça öz akymyna ammaryň açyk meýdanyna dökülýär, ol ýerde hem monolit gataýar. Soňra ekskawatorlar bilen pytradýarlar we deňleşdirmek üçin garyşdyrýarlar we açyk wagonlara ýükleýärler. Kükürdiň bir bölegini bak-çökdürijilerden arassalaýjy sehe geçirýärler, ol ýerde ony organiki maddalaryň goşundylaryndan arassalaýarlar. Netijede ýokary hilli kükürt alýarlar.

Awtoklaw usuly boýunça 20 % kükürt saklaýan magdandan 99,5÷99,7 % kükürt saklaýan önüm alynýar; magdandan kükürdiň umumy bölünip alnyşy 80-85 %.

Kükürt magdanlary gaýtadan işlenilip alynýan kükürt 0,5 %-e çenli eremedik organiki däl duzlary, kislotalary we çyglylygy saklaýar. Bu goşundylardan kükürdi goşmaça arassalap aýyrmak bolýar.

Kükürtde has zyýanly goşundylar onuň gaýtadan işleme prosesine, şeýle hem ondan alynýan taýýar önümiň hiline otrisatel täsir edýän goşundylar – ýaglar, bitum we myşýak bolýar.

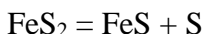
2.3.2. Gaz kükürdiniň alnyşy

Gaz kükürdi reňkli metallurgiýanyň zyňylýan gazlaryndan, nebiti gaýtadan işlemegiň gazlaryndan, nebit bilen ugurdaş we tebigy gazlardan alýarlar. Reňkli metallurgiýanyň gazlaryndan alynýan gaz kükürdinde köp mukdarda myşýak we beýleki zyýanly goşundylar saklanýar, şonuň üçin, gaz kükürdi ýakylanda emele gelýän SO_2 -ni kontakt kükürt kislotasynyň önümçiliginde katalizatora

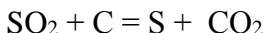
bermezden öň gowy edip arassalaýarlar (kolçedan ýakylandan soň gazyň arassalanylyşyna meňzeş).

Aýratyn-da, gaz kükürdi wateržaket peçlerinde misli kolçedan eredilende çykýan gazlarda köp mukdarda saklanýar. Ondan element kükürt görnüşinde 80 %-e çenli S bölüp almak bolýar. Misli kolçedanyň esasy komponenti FeS_2 we 7 %-e çenli CuS bolup durýar.

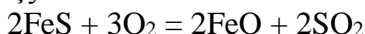
Misli kolçedandan, koksdan, kwarsdan we hek daşyndan (flýus) ybarat bolan şihda wateržaket peçlerde ýakylanda kem-kemden dört zonany geçýär. Birinji zonada (guratmak zonasy) şihda $550\text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli gyzdyrylýar, indiki zonada – $800\text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli. Ikinji zonada şihda gyzdyrylanda şu reaksiýa geçýär:



Üçünji zonada pejiň aşaky böleginde bölünip çykýan kükürt dioksidi şihdanyň uglerody bilen elementar kükürde çenli gaýtarylýar:

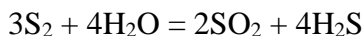


Ahyrynda, iň soňky - aşaky – pejiň zonasynda FeS -iň ýanmagy bolup geçýär:

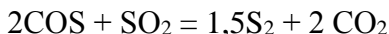
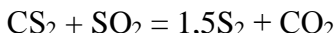
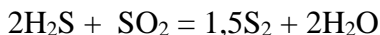


Şonda, demir oksidi (II) şihdanyň komponentleri bilen ereýärler, FeS -iň okislenmedik bölegi mis sulfidi bilen bilelikde şteýn emele getirýär.

Kükürt dioksidi kömür bilen gaýtarylanda elementar kükürden başga-da dürli görnüşli kükürt saklaýan birleşmeler (kükürtuglerod, uglerod kükürtokisi we b.) alynýar. Ondan başga-da, şihdaky we howadaky çyglylyk kükürt bilen täsirleşip kükürtwodorodyň käbir mukdaryny emele getirýär:

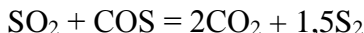
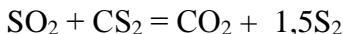


Kükürt birleşmeleri (CS_2 , COS , H_2S) pejiň 4-nji zonasynda elementar kükürdiň bölünmegi bilen emele gelen SO_2 -niň täsiri astynda dargaýarlar:



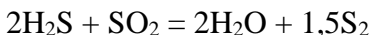
9-njy suratda misli kolçedan eredilende elementar kükürdiň alnyşynyň shemasy şekillendirilen. Şihta ikili böwet arkaly ýapyk wateržaket peje 1 berilýär. Howa aşaky furmadan berilýär, ol peçden çykýan gaz kislorod saklamaz ýaly mukdarda berilýär. Eremeginiň netijesinde emele gelen şlak we şteýn dykzlyklarynyň dürlüligi bilen tapawutlanýarlar. Misli şteýn guýujy maşynlar arkaly soňky gaýtadan işlenilmegi üçin ugradylýar, şlak bolsa zyňylýar.

Gazlar wateržaket peçlerden (1) soň tozantutuja (2) ugradylýar, ol ýerde gödek (iri) tozan çökýär, soňra tozandan doly arassalamak üçin elektrofiltre (3) berilýär. Tozandan arassalanylan gaz birinji reaksiýa (kontakt) kamera (4) berilýär. Bu ýerde katalizator (boksit) ekzotermiki reaksiýalar bolup geçýär:

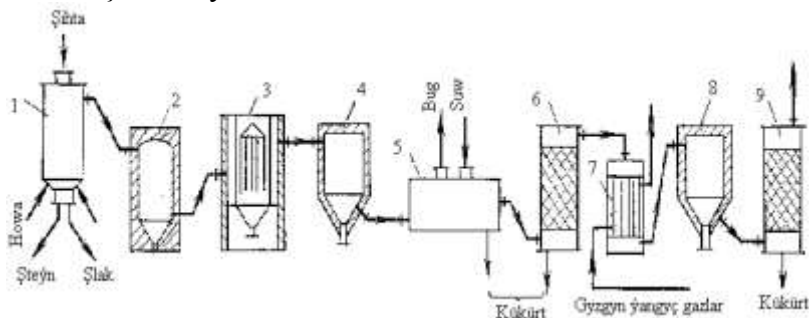


Gazyň temperaturasy reaksiýanyň geçişinde $450\text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli ýokarlanýar, şonuň üçin, reaksiýa kameradan çykýan gaz $130\text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli bugly gazan – utilizator (kotýol-utilizator) (5) sowadylýar; bu ýerde hem kükürdiň esasy massasy

kondensirlenýär. Galan kükürt polat halkalar bilen doldurylan goýumly minara (6) bilen tutulýar. Ondan soň, sowadylan gaz gyzdyryjy (7) arkaly ikinji reaksion kamera (8) ugradylýar, bu ýerde şol bir katalizator (boksitde) 200-250 °C-da kükürt dioksidi gazda galan kükürtwodorod bilen täsirläşýär:



Bölünip çykýan gaz yzygiderlikde ikinji bugly gazan-utilizatora (suratda görkezilenok) we minara (9) kükürdi bölüp almak üçin berilýär.



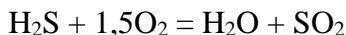
9-njy surat. Misli kolçedandan gaz kükürdini almagyň shemasy

- 1 – wateržaket jebisleşdirilen peç; 2 – tozan tutujy;
- 3 – elektrofiltr; 4, 8 – reaktiv kameralar; 5 – bugly gazan-utilizator (bugly kotýol-utilizator); 6, 9 – gazdan kükürdi çökdürmek üçin minara (başnýa); 7 – gazy gyzdyryjy.

Gaz kükürdiniň köp mukdaryny ýangyç we tehnologiýa gazlaryň arassalama proseslerinde aýrylýan kükürtwodoroddan alýarlar. Bu gapdal alynýan kükürtwodorod öl kataliz usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginde ulanylýar ýa-da elementar kükürde gaýtadan işlenilýär. Eger, kükürtli gazlaryň we kükürtwodorodyň emele gelýän zyňyndylarynyň raýonynda kükürt kislotasyna talap bolmasa, onda SO_2 we kükürtwodorody kükürt kislotasyna däl-de kükürde gaýtadan işlemeklik maksadalaýykdyr. Kükürdi daşamaklyk arzan

bolýar, kükürdiň ekwiwalent mukdary kükürt kislotasy bilen deňeşdirilende 3 esse az göwrümi tutýar, kükürt kislotasynyň kükürtden alynýan önümçiliginiň tehnologiýa shemasy bolsa ýeterlik ýönekeýdir.

Kükürtwodoroddan kükürdi almagyň prosesi kükürtwodorodyň 1/3 böleginiň howanyň garyndysy bilen ýakylmagydyr:



Ýakylanda emele gelýän SO_2 -ä kükürtwodorodyň beýleki mukdary goşulýar we gaz garyndysy reaktora ugradylýar, ol ýerde katalizatorda SO_2 bilen H_2S -iň arasynda özara täsirleşme bolup geçýär. Kükürdiň bölünip çykan buglary sowuk üstde kondensirlenýär.

2.3.3. Tebigy gazlardan, nebitden we kömürden alynýan kükürt

Kömüriň kokslama we gazifikasiýa prosesinde kükürt bölekleyin kükürt saklaýan gazlara geçýär. Häzirki wagtda kömüriň we nebitiň tüsse gazlaryna geçýän kükürt saklaýan birleşmeleri olarda SO_2 -niň konsentrasiýasynyň pesligi sebäpli ulanylmaýar. Tebigy we ugurdaş gazlarda (nebitde eredilende we ol alnanda çykýan), nebit we kömür himiki gaýtadan işlenilende alynýan gazlarda H_2S görnüşinde saklanýan kükürdiň ulanyp boljakdygyny aýtmak bolar.

Kükürdiň ýakylyşy

Kükürt kükürt kislotasyny almak üçin giňden ýaýran çig mallaryň biri bolup durýar.

Esasy kwant sany 3 bolan kükürdiň daşky walent gatlagynda 6 sany elektron bar. Altysyndan 4-si jübütleşen, ikisi – jübütleşmedik, şonuň üçin, kükürt normal ýagdaýda iki walentlidir.

Kükürdiň allotroplarynyň fiziki häsiýetleri

Molekula	Reňki	Dykyzlygy, g/sm ³	Ereme ýa- da dargama nokady, °C
S ₆	Mämişi-gyzyl	2,209	50-60
S ₇	Sary	2,090	39
S _{8-α}	Sary	2,069	112,8
S _{8-β}	Sary	1,940	119,6
S _{8-γ}	Açyk sary	2,190	106,8-120
S ₁₂	Solak-sary	2,036	148
S ₁₈	Limon reňk sary	2,090	128
S ₂₀	Solak sary	2,016	124-125
S _∞	sary	2,010	104

Gaty kükürt. Gaty kükürdiň durnukly formasy adaty temperaturada we basyşda ortonomb α -kükürt görnüşinde bolýar. Ol S₈ siklooktökükürdiň korona şekilli molekulalaryndan ybarat (termodinamiki stabil formasy). α - kükürt gaty, suwuk we gaz fazalarda bolýar, birnäçe dürli görnüşli kristalliki gözenekler görnüşinde kristallaşýar.

Üç sany allotrop modifikasiýanyň strukturasy kesgitlenen. 95,3 °C -da α -kükürt monoklin β -kükürde öwrülýär. Ol 119,6 °C-da ereýär. α -kükürdiň ergininde, şeýle hem ergininden (rasplaw) γ -kükürdiň iňne görnüşli kristallary bölünip bilýär. Onuň dykyzlygy 2,19 g/sm³, ýagny α we β -kükürdiň dykyzlygyndan uly. Tablisada kükürdiň üstünden buguň basyşynyň sanlary görkezilýär.

Kükürdiň üstünden buguň basyşy

Temperatura, °C	Basyş		Temperatura, °C	Basyş	
	mm sim. süt.	Pa		atm	Pa
106,9	10^{-2}	0,330	574	5	0,5
141,0	10^{-1}	13,3	644	10	1,0
186,0	1	133	721	20	2,0
244,0	10	$133 \cdot 10$	800	40	4,0
328,0	100	$133 \cdot 10^2$	833	50	5,0
444,0	760	$101 \cdot 10^3$	936	100	10,0
495,0	2	0,2	1035	200	20,0

Suwuk kükürt. 120 °C-dan ýokary temeraturada normal basyşda kükürt suwuk ýagdaýda bolýar. 159,4 °C-da iň pes süýgeşiklikde bolýar. 159,4 °C-da kükürdiň molekulalarynyň polimerizasiýasy bolup geçýär. Temperaturanyň ondan soňky ýokarlanmagy bilen deňagramly suwuklykda polimeriň saklanyşy artýar. Polimeriň zynjyrynyň uzynlygy maksimal sana ýetýär (10^6 atom). Siklooktokükürt S_8 göni diradikala çenli termiki dargamaklyga sezewar bolýarlar, olar S_8 -ň beýleki halkalary bilen birleşip polimer emele getirýär.

159,4 °C-dan soň kükürdiň süýgeşikligi temperaturanyň artmagy bilen ýokarlanyp başlaýar, takmynan 190 °C-da maksimuma ýetýär we şondan soň peselip başlaýar. Süýgeşikliginiň ýokarlanmagy polimeriň halkasynyň uzynlygynyň we konsentrasiýasynyň bir wagtda artmagy bilen bolup geçýär, süýgeşikliginiň ondan soňky peselmegi bolsa

konsentrasiýanyň we halkanyň uzynlygynyň ters taraplaýyn effektiniň netijesidir.

2.4. Aglomerasion gazlar

Gara metallurgiýanyň iri kärhanalarynda demir magdany domna pejine ýüklenmezden öň aglomerasiýa sezewar edilýär, ol şundan ybarat: käbir goşundylary saklaýan gyzardylan magdan arkaly howa üflenilýär (geçirilýär). Şonda, magdanda bar bolan kükürt kükürt dioksidini bölüp çykarmak bilen okislenýär (aglomerasion gazlaryň düzümine girýän). Demir magdanynda kükürt köp mukdarda bolsa, aglomerasion gazlaryň düzümine $0,5 \div 1,5$ % SO_2 girýär.

Aglomerasiýa şeýle hem reňkli metallaryň käbir magdanlary hem sezewar edilýärler.

Gara metalurgiýanyň käbir kärhanalarynda gazlardan SO_2 -ni dürli ýuwdujylar bilen ýuwutdyrmaklyk we ondan soň konsentirlenen kükürt dioksidini bölüp almaklyk belenilýär. Demir magdanynyň aglomerasiýasynda aglomerasion gazlarda SO_2 -niň konsentrasiýasyny ýokarlandyrmak üçin olary magdandan köp gezek geçirýärler we ondan soň gazy göniden-göni kükürt kislotasyna gaýtadan işleýärler.

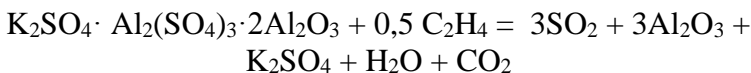
2.5. Dürli görnüşli kükürt saklaýan çig mallar

Gips we fosfogips – $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$. Kalsiý sulfaty tebigatda suwsuz görnüşinde – ангидрит CaSO_4 duş gelýär, şeýle hem fosfor kislotasynyň önümçiliginde (fosfogips) galyndy we konsentirlenen fosfor we çylşyrymly dökünleriň önümçiliginde (ikili superfosfat, nitrofos, nitrofoska we b.) zyňyndylarda bolýar. Kükürt kislotasyny almak üçin (ангидрит, фосfogips) gipsi kömür bilen toýunyň garyndysynda ýakýarlar. Şonda SO_2 emele gelýär. Galan galyndyny (kül) owradylandan soň sementiň önümçiliginde ulanmak bolýar.

Işlenilen kislotalar. Kükürt kislotasyny nebit önümlerinden arassalamak üçin suw çekiji serişde hökmünde we beýleki maksatlar üçin ulanylanda kükürt kislotasyny saklaýan zyňyndylar emele gelýär. Işlenilen kislotalary gaýtadan işlemegiň usullary onuň düzümine bagly bolýar. Olaryň düzümindäki goşundylar prosesiniň geçişine we soňky önümiň hiline täsir etmeýän ýagdaýynda ulanmak amatlydyr.

Zäherleýji erginler. Metallar kükürt kislotasy bilen zäherlenende galyndy hökmünde zäherleýji erginler alynýar. Olaryň düzüminde 2÷4 % erkin kükürt kislotasy we 25 %-e golaý FeSO_4 bolýar. Ol erginlerden köp mukdarda $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (demir sulfatyny) bölüp alýarlar, galan ergine kükürt kislotasyny goşup, zäherleýji wanna gaýtarýarlar. Zäherleýji erginleriň regenerasiýasynda bölünip çykýan demir kuporosy önüm hökmünde çykarylýar. Eger kükürt kislotasynyň önümçiliginde ulanylsa, ony $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ çenli guradýarlar, soňra flotasion kolçedana 50÷100 %-e çenli goşýarlar.

Alunitler. Mineralyň himiki düzümi **$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$** . Ol alunit magdanynda 50 %-e ýetýär. Ondan başga-da magdanda kremnezýom, titan, demir oksidi we 0,2 % P_2O_5 goşundylary bolýar. 500 °C-a çenli gyzdyrylanda alunit kristallizasion suwy ýitirýär, 650 °C-dan ýokary temperaturada mineral dargap başlaýar. Bölünip çykýan gazda SO_2 -niň mukdary 75 %-e ýetýär. Gazy howa bilen suwuklandyrýarlar we kükürt kislotasyny almak üçin ulanýarlar. Glinozýomy (Al_2O_3) alýuminiň önümçiliginde, kaliý sulfatyny dökün hökmünde ulanýarlar.



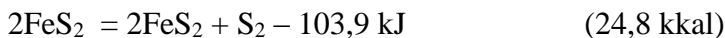
III. KÜKÜRT SAKLAÝAN ÇIG MALLARYŇ ÝAKYLYŞY

3.1. Kükürt saklaýan çig malyň ýakylyşynyň fiziki-himiki esaslary

Tehnikada kükürtli gaz diýlip, kükürt dioksidini saklaýan gaz garyndysyna aýdylýar; kükürtli gazyň komponentleriniň konsentrasiýasy (SO_2 , O_2 , N_2 we b.) başlangyç çig malyň we onuň ýakyşynyň usulyňa baglylykda tapawutlanýarlar.

Kükürt saklaýan çig malyň ýanma reaksiýasy.

Kolçedan ýakylanda birnäçe reaksiýa geçýär. Ilki başda demir disulfidiniň FeS_2 termiki dargamagy bolup geçýär, şonda demir sulfidi FeS emele gelýär we kükürdiň buglary bölünip çykýar:



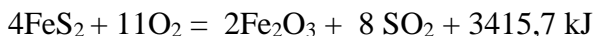
Kükürdiň bölünip çykmagy 500°C -a golaý temperaturada başlanýar we temperatura ýokarlandygça ol çaltlaşýar. Soňra kükürdiň buglary ýanyp kükürt dioksidini emele getirýärler:



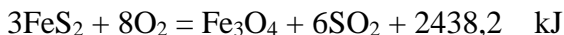
Elementar kükürt ýakylanda hem şonuň ýaly reaksiýa geçýär.

Demir sulfidi (FeS) hem ýanýar, emma bu prosesin takyk mehanizmi kesgitlenmedik; olaryň diňe birnäçe mysaly shemalary tekliplenen. Şolaryň biri boýunça FeS -ň okislenmeginiň 1-nji stadiýasy – demir sulfatlarynyň emele gelmegi we soňra olaryň demir oksidine çenli dargamagydyr. Beýleki shemalar boýunça FeS göniden-göni demir oksidine çenli okislenýär.

Kolçedanyň ýanma (umumy) prosesi Fe_2O_3 -niň emele gelmegi bilen:



ýa-da Fe_3O_4 -niň emele gelmegi bilen geçýär:



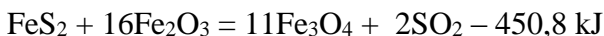
Fe_3O_4 -ň emele gelmeginiň amatly şertleri şular bolup durýar: ýokary temperatura, gazyň düzüminde SO_2 -ň köp bolmagy we ýanmadyk kolçedanyň mukdarynyň köp bolmagy.

Kolçedandaky reňkli metallaryň sulfidleri ýakylşynyň şertlerine baglylykda (temperatura, gazda kislorodyň saklanyşy we ş.m.) oksidleri we sulfatlary emele getirýärler. Kolçedanda bar bolan reňkli metallaryň sulfidleri ýakylşynyň şertlerine (temperatura, gazda kislorodyň saklanyşyna we b.) baglylykda oksidleri we sulfatlary emele getirýärler. Metallaryň karbonatlary ýananda uglerod dioksidi bölünip çykýar we degişli metallaryň oksidleri emele gelýär, olar bolsa soňra sulfatlara öwrülýärler.

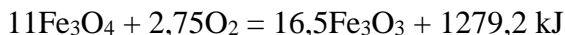
Kömür kolçedany ýananda kükürt bilen birlikde uglerod hem ýanýar:



Şonda ýakylýan gazda kislorodyň mukdary azalýar, bu bolsa katalizatorda SO_2 -niň ondan soňky okislenme prosesiniň tizligini peseldýär. Kolçedan ogarok (galyndy köýük) bilen okislenende (proses 800°C -a golaý temperaturada geçýär) ýokary konsentirlenen SO_2 -ni alýarlar:



Emele gelen oksid Fe_3O_4 howadaky kislorod bilen 900°C -a golaý temperaturada okislenýär we täzeden prosese gaýtarylýar:

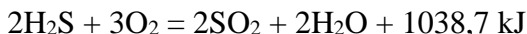


(6) we (7) reaksiýalaryň ýylylyk effektiniň jemi $828,4 \text{ kJ}$ –a deň.

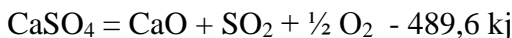
Sink obmankasy ýakylanda şu reaksiýa geçýär (okislenýär):



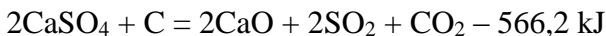
Kükürtwodorod ýakylanda SO_2 we suw buglary emele gelýär:



Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ gyzdyrylanda ilki bilen kristallizasiýa suwy bölünip çykýar, kalsiý sulfaty dargaýar (angidrit):



Onuň doly dargamagy bolsa $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$ –da bolup geçýär; dargama temperaturasy uglerodyň (kömür) gatnaşmagynda ep-esli pese düşüp biler:



CaSO_4 -ň dargama temperaturasyny şeýle hem şihpanyň düzümine kremnezýom, alýuminiý we demir oksidini goşmak bilen peseldip bolar.

Kükürt saklaýan çig malýň ýanma ýylylygy

Kolçedanyň ýanma reaksiýasynyň deňlemesinden görnüşi ýaly, 4 mol demir disulfidi (molekulýar massasy 119,97) ýananda 3415,7 kJ ýylylyk bölünip çykýar. Şeýlelikde, himiki arassa FeS₂-ň ýanma ýylylygy

$$\frac{3415,7 \cdot 1000}{4 \cdot 119,98} = 7119 \text{ kJ/kg} \quad (1699 \text{ kkal / kg})$$

Kolçedan ýakylanda bölünip çykýan ýylylygyň mukdary kükürdiň ýanma derejesine bagly we şunuň ýaly tapylyp bilner:

$$Q = \frac{7119 \cdot C_{s(an.)}}{53,5} = 133,2 \cdot C_{s(ýan.)} \quad \text{kJ/kg}$$

bu ýerde $C_{s(ýan.)}$ - kükürdiň ýanma derejesi, %;
53,5 - FeS₂-de kükürdiň mukdary, %

Kükürdiň ýanma derejesi öz gezeginde şu deňleme boýunça kesgitlenilýär:

$$C_{s(ýan.)} = C_{s(fakt)} - C_{s(og)}$$

bu ýerde $C_{s(fakt)}$ - kolçedanda kükürdiň saklanyşy, %; β - emele gelyän ogarogyň mukdary; $C_{s(og)}$ – ogarokdaky kükürdiň mukdary.

Şoňa meňzeş edip, dürli çig mallar ýakylanda bölünip çykýan ýylylygyň mukdaryny kesgitlemek üçin formulalar çykarylyp bilner:

Kolçedan ýakylanda şu reaksiýa boýunça:

$$Q = 126,5 \cdot C_{s(ýan)} \quad \text{kJ/kg}$$

Kükürt ýakylanda

$$Q = 92,6 \cdot C_{s(ýan)}$$

Sink obmankasy ýakylanda:

$$Q = 146,7 \cdot C_s (\text{ýan}) \quad \text{kJ/kg}$$

Kükürt saklaýan çig malyň ýanma temperaturasy

Piritiň SO_2 -ni bölüp çykarmagy bilen okislenmegi eýýäm $170 \div 260 \text{ }^\circ\text{C}$ temperaturada başlanýar, kolçedanyň ot alma temperaturasy bolsa (dürli sortlary üçin) 290 -dan $420 \text{ }^\circ\text{C}$ -a çenli aralykda bolýar.

Şonda kolçedan näçe ownuk bolsa, onuň ot alma temperaturasy şonça-da pes bolýar. Mysal üçin, $0,00 \div 0,05$; $0,08 \div 0,1$ we $1-2 \text{ mm}$ -de ot alma temperaturasy degişlilikde 290 , 405 we $428 \text{ }^\circ\text{C}$ -a deň.

Kremnezýomyň goşundylary ot alma temperaturasyny ýokarlandyrýar, organiki önümleriň goşundysy bolsa ony peseldýär.

Kolçedanyň ýanma ýylylygy esasan emele gelýän gazlaryň we ogarogyň (galyndy köýügiň) gyzdrylmagyna harçlanýar, şonuň üçin hem kolçedanyň ýanma temperaturasy we ýakylýan gazyň temperaturasy (peçe berilýän gazyň temperaturasy $0 \text{ }^\circ\text{C}$ bolanda) şu deňleme boýunça kesgitlenip bilner:

$$t_1 = Q / (V_{\text{gaz}} \cdot G_{\text{gaz}} + G_{\text{og}} \cdot G_{\text{gaz}}) ;$$

bu ýerde Q - kolçedanyň ýanma ýylylygy, kJ/kg ; V_{gaz} - ýakylýan gazyň göwrümi, 1 kg kolçedan ýakylanda emele gelýän), m^3 ; G_{gaz} - $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -dan t çenli aralykda ýakylýan gazyň ýylylyk sygymy, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; G_g - 1 kg kolçedan ýakylanda emele gelýän galyndynyň massasy, kg ; C_g - galyndynyň ýylylyk sygymy, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.

Kükürt saklaýan çig malyň ýanma tizligi

Kolçedan ýakylanda şu prosesler bolup geçýär:

- 1) FeS_2 -niň (1) reaksiýa boýunça dargamagy;

- 2) O_2 –ň gaz fazasyndan kolçedanyň däneleriniň üstüne berilmegi;
- 3) Kükürdiň (2) reaksiýa boýunça okislenmegi;
- 4) FeS –ň SO_2 -ni we Fe_2O_3 emele getirmegi bilen okislenmegi;
- 5) Kolçedanyň dänelerinden gaza okislenende bölünip çykýan ýylylygy çykarmak;
- 6) SO_2 –ni reaksiýanyň zonasyndan gaz fazasyna geçirmek.

Ýakmagyň şertlerine (temperatura, däneleriň ölçegi, gaz akymyň tizligi we beýl.) baglylykda bu prosesleriň prosesiniň umumy tizligine täsiri dürli-dürlidir. Köp derejede kolçedanyň ýanma tizligi onuň himiki we mineralogik düzümine, şeýle hem onuň kristallik gurluşyna bagly bolýar. Pes temperaturada himiki reaksiýalaryň tizligi (1, 3, 4 prosesler) diffuzion prosesleriň (2, 5 we 6) tizliginden pes, şonuň üçin hem prosesiniň umumy tizligi 1, 3 we 4 reaksiýalaryň geçişi bilen kesgitlenýär, ýagny proses kinetiki oblastda geçýär.

Kolçedan hereketsiz gatlakda ýakylanda has haýal geçýän reaksiýalar – 2, 5 we 6, ýagny masso- we ýylylyk berme prosesler (bu prosesler diffuzion režimde geçýär). Kolçedanyň okislenme derejesi wagta, şeýle hem temperatura we kislorodyň saklanyşyna görä üýtgeýär. Gaýnaýan gatlakda ýanma temperaturasy 600–den 750 °C-a çenli ýokarlandyrylanda kolçedanyň okislenişiniň intensiwligi 1,8 esse, halkopiritiňki 2,3 esse artýar.

Önümçilik şertlerinde ýakylanda gyzygyn materialyň gyzyyp tutluşmagy uly kynçylyklary döredýär. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kolçedanyň gyzyyp tutluşmagy artýar, ol şeýle hem kolçedanyň düzümine (sortyna) bagly bolýar. 35 % töweregi S saklaýan kolçedan 800 °C –da gyzyyp tutluşýar; kolçedanlaryň köpüsi 900 °C-da gyzyyp tutluşýar.

Ýakylýan gazyň düzümi

Kükürt saklaýan çig mal ýakylanda kislorod diňe bir SO_2 -niň emele gelmegine däl-de, çig malyň beýleki komponentleriniň hem (mysal üçin, kolçedan ýakylanda demiriň, kükürtwodorod ýakylanda wodorodyň) okislenmegine harçlanýar. Şonuň üçin hem ýakylýan gazyň düzümi ýakylýan çig malyň düzümine we gazdaky kislorodyň konsentrasiýasyna bagly bolýar.

Ýakylýan gazda kükürt angidridiniň mukdary çig malyň ýanma temperaturasyna, ýakylýan gazdaky kislorodyň konsentrasiýasyna, peçň konstruksiýasyna, SO_2 -niň okislenme prosesiniň tizligine we onuň ogarok bilen täsirleşmeginiň dowamlylygyny kesgitleýän käbir beýleki faktorlara bagly.

Kolçedan mehaniki peçlerde ýakylanda SO_3 -ň mukdary SO_2 -ň mukdaryndan $5 \div 10$ % düzýär, tozan görnüşli ýakylýan peçlerde SO_3 az ($2 \div 3$ % SO_2 -ň mukdaryndan).

GG peçlerde kolçedanyň howa bilen gowy garylmagy netijesinde ýanma prosesi ýokary tizlikde geçýär, şonuň üçin hem ýakylýan gazda SO_2 -niň mukdary ýokary bolýar (15 % SO_2). SO_2 -niň konsentrasiýasynyň köp bolmagy (kislorodyň konsentrasiýasy pes) we temperaturanyň ýokary bolmagy netijesinde SO_2 -niň SO_3 -e okislenme derejesi uly däl; ol ýakylýan gazda SO_2 konsentrasiýasy köp boldugyça, şonça-da pes bolýar.

Kükürtwodorod gazy ýakylanda ýakylýan gazda emele gelýän esasy komponentler (eger, kükürtwodorod gazynda O_2 bolmasa we gazdaky goşundylary okislemek üçin harçlanýan kislorod hasaba alynmasa) şu deňleme arkaly aňladylýar:

$$C_{\text{SO}_2} = \frac{a}{1 + \delta - a / 200}$$

$$C_{\text{O}_2} = \frac{21\delta(1 - d / 100) - 1,5a}{1 + \delta - a / 200}$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{a + c + \delta d}{1 + \delta - a/200},$$

bu ýerde C_{SO_2} , C_{O_2} , $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – ýanýan gazda SO_2 , O_2 we H_2O –ň saklanyşy, göwr., %; a , c – kükürtwodorod gazynda H_2O we H_2S –ň saklanyşy, göwr. %; d – H_2O –ň howadaky saklanyşy, %; δ – 1m^3 kükürtwodorod gazyna düşýän howanyň göwrümini hasaba alýan koeffisiýent (m^3).

Kolçedanyň düzümindäki myşýak, selen, tellur, reniý goşundylary ýanma prosesinde As_2O_3 , SeO_2 , TeO_2 we Re_2O_7 çenli kislorod bilen okislenýärler we çig mal mehaniki we tozan görnüşinde ýakylýan peçlerde ýakylýan gazyny düzümine geçýär. Ogarokda galýan myşýak bilen seleniň mukdary kolçedanyň ýakylmagynyň şertlerine bagly: ýanma temperaturasy ýokary boldugyça, olaryň galyndydaky mukdary azalýar.

Galyndynyň düzümi we mukdary

Kolçedan we beýleki kükürt saklaýan magdanlar ýakylanda galyndy emele gelýär. Onuň mukdary we fiziki-himiki häsiýetleri çig malyň himiki düzümine, ondan kükürdiň doly ýanyşyna, kolçedanyň däneleriniň ölçeglerine, ýakylmagynyň şertlerine we ş.m. bagly. Mysal üçin, flotasion kolçedan ýakylanda ogarok – dürli formada bolan ownuk polidispers öýjükli bölejiklerdir, olaryň dykzlygy ρ_u – $3600 \div 4500 \text{ kg/m}^3$.

Kolçedan ýakylanda emele gelýän ogarogynyň mukdary kolçedandaky we ogarokdaky kükürdiň mukdaryna bagly.

3.2. Kolçedany ýakmak üçin ulanylýan peçler

Kolçedany ýakmak üçin dürli görnüşli peçler ulanylýar. Mehaniki peçler – owradylan kolçedan birnäçe tekjelerde ýerleşýär.

Tozan görnüşinde ýakylýan peçler - kolçedanyň bölejikleri boş kamerada aşak gaçan wagty ýanýar.

Gaýnaýan gatlakly peçler – kolçedan aşakdan howanyň berilmegi bilen asylan (suwuklandyrylan) ýagdaýda bolýar we intensiw garylmagy bilen ýanýar.

Siklonly peçler – kolçedan gyzgyn howa bilen uly tizlikde berilýär we peçde howa bilen aýlanyp ýanýar.

Täze kükürt kislotasy desgasynda diňe gaýnaýan gatlakly peçler göz önünde tutulýar.

3.3. Gaýnaýan gatlakly (GG) peçler

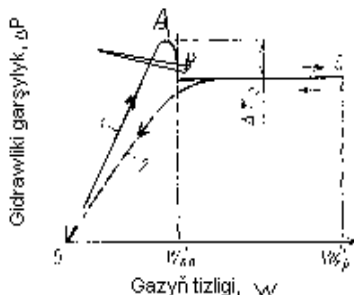
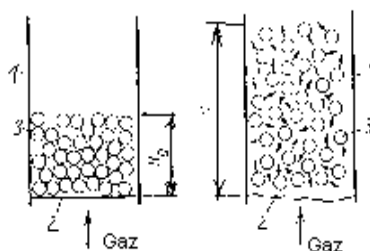
Kükürt saklaýan çig malyň ýakylyşynyň intensiwligi birinjiden, çig malyň dargama reaksiýasynyň (mysal üçin, kolçedan) tizligi, kükürdiň okislenme tizligi we beýleki faktorlar bilen, ikinjiden, kislorodyň gaz akymyndan ýakylýan çig malyň üstüne diffuziýanyň tizligi, ýakylanda alynýan önümleriň çig malyň üstünden gaz akymyna, şeýle hem ýylylygyň çig malyň üstünden gaz akymyna çykarmagyň tizligi (ýagny, masso- we ýylylyk beriş prosesleri) bilen kesgitlenilýär.

GG peçlerde bu prosesler ýokary tizlikde geçýär, şonuň üçin hem bu peçlerde ýakmagyň ýokary intensiwligi üpjün edilýär.

Gaz aşakdan ýokaryk zire-zire materialyň gatlagyndan geçirilende, gazyň tizliginiň artmagy bilen gaty bölejikleriň hereketi üýtgeýär. Haçanda gaz akymynyň tizligi W kritiki ululykdan pes bolanda, bölejikler hereketsiz ýagdaýda bolýarlar (10-njy surat); gatlagyň beýikligi H_0 üýtgemeýär. Akymyň tizliginiň W ýokarlanmagy bilen gatlagyň gidrawliki garşylygy P artýar. 11-nji suratda bu şertler OA kesim bilen (WO -dan W_{kr} üýtgände) häsiýetlendirilýär.

Gazyň tizliginiň çaltlaşmagy bilen ($W > W_{kr}$) gatlagyň beýikligi artýar, gatlakdaky bölejikleriň intensiwligi bolsa gazyň tizligi 2-nji kritiki tizlige ýetýänçä artýar. Gatlagyň

gidrawliki garşylygy gazyň tizligi W_{kr}' -den W_{kr}'' çenli üýtgände hemişelik bolup galýar (11-nji surat, BC göni çyzyk). $W > W_{kr}''$ bolanda gazlaryň bölejiklere sürtülme güýji gatlagyň agyrylyk güýjünden geçýär we onuň bölejikleri gatlakdan çykarylyp bilner.



10-njy surat. Ideal gaýnaýan gatlagyň shemasy

A – hereketsiz gatlak; b – gaýnaýan gatlak;
1 – hemişelik kese kesimli apparat;
2 – ýaýradyjy gözenek; 3- gaty bölejikler.

11-nji surat. Real gaýnaýan gatlagyň gidrawliki garşylygy.

1 - gazyň tizligi çaltlaşanda;
2 – gazyň tizligi peselende .

2-nji egri çyzyk ΔP -niň (W uly sanynyň kiçi sanyna geçende) bahasyna laýyk gelýär. Real şertlerde BC uçastok köplenç gorizontaý ýagdaýda bolmaýar.

Gaýnaýan gatlagyň gidrawliki garşylygy şu deňleme bilen aňladylýar:

$$\Delta P = \rho \cdot H \cdot (1 - \xi),$$

bu ýerde ΔP - gaýnaýan gatlagyň gidrawliki garşylygy, Pa; ρ - ogarogyň (kül galyndysynyň) udel agramy, H - gaýnaýan gatlagyň beýikligi, m; ξ - gatlagyň öýjükliligi.

Hemişelik kesimli apparatlarda W ýokarlandygyça (AB uçastokda, 11-nji surat) $H(1 - \xi)$ hemişelik bolup galýar, şonuň üçin hem deňlemäni şu görnüşde ýazmak bolýar:

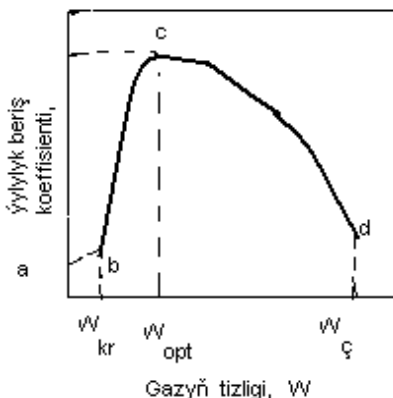
$$H(1 - \xi) = H_0(1 - \xi_0)$$

bu ýerde H – hereketsiz gatlagyň beýikligi, m ; – hereketsiz gatlagyň öýjükliligi (onuň suwuklanmagyndan öňki).

Soňky deňlemäni hasaba alyp deňlemäni şu görnüşde ýazmak bolýar:

$$\Delta P = \rho H_0(1 - \xi)$$

Çig malyň gaýnaýan gatlakly peçde ýanma prosesiniň ýokary intensiwligi, gaýnaýan gatda massa we ýylylyk çalyşma prosesleriniň tizliginiň hereketsiz gatlakdakydan ýokarylygy bilen düşündirilýär.



12-nji surat. Ýylylyk beriş koeffisiýentiň gaýnaýan gatlakda gazyň tizligine baglylygy:

ab - süzüji gatlakda, bcd - gaýnaýan gatlakda.

12-nji suratda ýylylyk beriş α koeffisiýentiň gaýnaýan gatlakdaky gazyň tizligine baglylygy görkezilýär. Suwuklanma pursatyndan başlap, $W = W_{kr}$ bolanda α bahasy artýar, soňra haýallaýar. Gazyň käbir optimal tizliginde W ýylylyk beriş koeffisiýenti α_{maks} ýetýär, soňra W_{opt} –ň artmagy bilen α bahasy peselip başlaýar. Gaýnaýan gatlakda hereket edýän

bölejikleriň pulsasiýa tizligi hemişe takmynan 10 sm/s –a deň. Bölejikleriň hereketi wertikal ugurda has intensiw (depginli) geçýär.

Pejiň gaýnaýan gatlagynda gaty bölejikleriniň saklanma wagty ululyk bilen, deňleme boýunça häsiýetlendirilip bilner:

$$-\ln \varphi = \frac{A \cdot \beta \cdot \tau}{O}$$

bu ýerde φ –(kolçedanyň paýy); A – wagt birliginde peje berilýän kolçedanyň mukdary, kg/sag; β – ogaogyň çykyşy; τ – wagt, sag.; O – ogarogyň mukdary (peçde ýerleşýän), kg.

Kolçedany ýakmak üçin gaýnaýan gatlakly peç wertikal ýerleşdirilen kameradan ybarat bolup, aşaky bölümüne gözenek arkaly howa berilýär. Howanyň berilşiniň tizligini owradylan kolçedan peçde asylan görnüşde saklanar ýaly we gözenekden çykmaz ýaly edip saklamaly. Peçde kolçedan howa bilen gowy garylýar. Bu ýanma prosesiniň tizliginiň ýokary bolmagyny üpjün edýär. Temperatura gaýnaýan gatlagyň tutuş göwrümünde birmeňzeşräkdir (tapawudy 5-10 °C).

Gaýnaýan gatlakly peçlerde diňe bir flotasion kolçedany däl-de, has iri owradylan kolçedany hem ýakmak bolýar.

Ýakylma (ýakylýan) gazy bilen çykýan tozanyň mukdary tutuş ogarogyň 90 %-ni tutýar. Bu tozan ilki bilen bugly gazan – utilizatorada, soňra siklonda we gutarnykly gury elektrofiltrede geçýär.

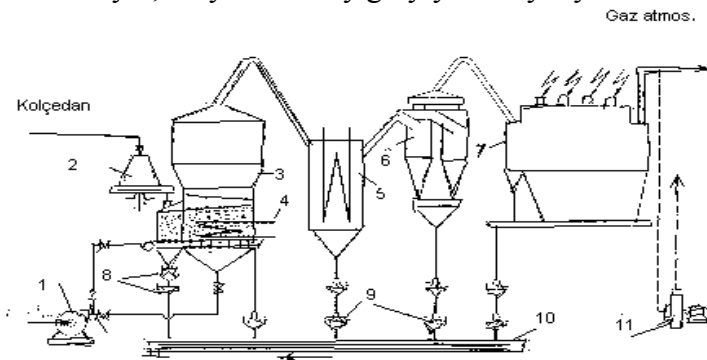
Ýanma prosesiniň tizliginiň ýokarylygy we gowy garylýandygy üçin gaýnaýan gatlakda kolçedan däl-de, ogarok saklanýar. Ogarokda kükürdiň saklanyşy gaýnaýan gatlagyň dürli nokatlarynda takmynan birmeňzeşräkdir. Gaýnaýan gatlagyň beýikligi peçden ogarogy çykarmak üçin ýerleşdirilen deşik bilen kesgitlenýär. Howanyň ýakylýan material bilen kontaktynyň dowamlylygy gaýnaýan gatlagyň beýikligine bagly: gaýnaýan gatlak näçe ýokary bolsa, kükürt şonça-da

doly ýanýar. Emma materialyň galyň gatlagyny gaýnaýan görnüşde saklamak üçin peçe berilýän howanyň basyşyny artdyrmaly bolýar, bu bolsa elektroenergiýanyň harçlanyşyny artdyrýar.

Kolçedan ýakylanda gaýnaýan gatlakly peçň temperaturasy (çig malyň bölekleriniň biri-birine ýelmeşmezligi üçin) 800°C -dan ýokary geçmeli däl.

Bu peçlerde daşky gurşawa ýylylygyň ýitgisi (peçň öndürijiligine baglylykda 1-2 %) köp däl, şonuň üçin hem olarda talap edilýän temperaturany saklamak üçin peçden ýylylygyň köp mukdaryny çykarmak zerurdyr. Onuň üçin gaýnaýan gatlagyň zonasynnda sowadyjy elementleri – (suwy gyzdyrmak üçin ýylan görnüşli ýa-da bugly kotýolyň turbalarynyň seksiyasy) goýulýar. Munuň özi bir apparatda kolçedanyň ýanma prosesi bilen buguň alnyşyny üpjün edýär. GG-da ýylylyk beriş koeffisiýenti $1000 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{sag} \cdot \text{K})$ töweregidir.

13-nji suratda gaýnaýan gatlakda kolçedany ýakmak üçin desganyň shemasy suratlandyrylan. Owradylan kolçedan bunker-üpjün edijiden (2) peje, materialyň gaýnaýan gatlagyna gyradeň berilýär, bu ýerde dowy garylýar we ýanýar.



13-nji surat. Peç agregatynyň shemasy:

- 1 – wentilýator; 2 – tarelkaly üpjün ediji; 3 – gaýnaýan gatlakly peç;
- 4 – sowadyjy elementler; 5 – bugly gazan-utilizator; 6 – siklonlaryň blogy;
- 7 – elektrofiltir; 8 – çykaryjy gurluş; 9 – klapany çykaryjy abzal;
- 10 – konweýer; 11 – tüsse sorujy.

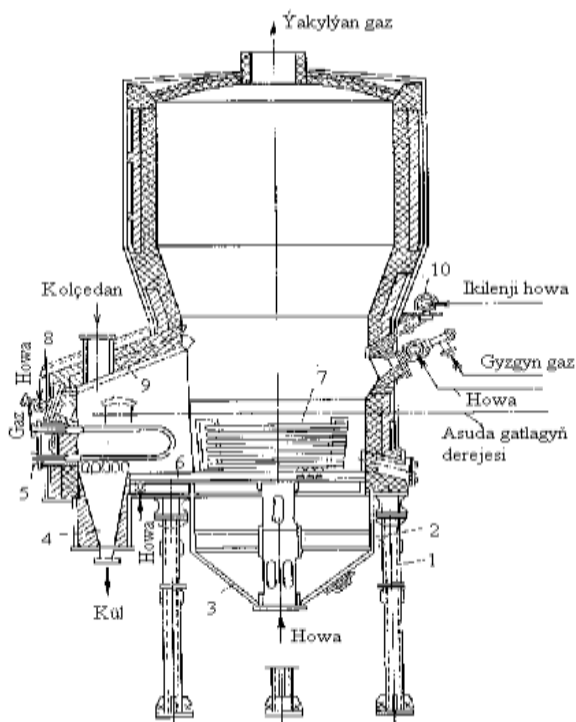
Kolçedanyň ýanmagy üçin zerur bolan howa wentilýatoryň (1) kömegi bilen peje berilýär we onda ýerleşen ogarok bilen ýanýan kolçedanyň garyndysyny gaýnaýan görnüşe getirýär. Gaýnaýan gatlagyň talap edilýän temperaturasyny saklamak üçin onda sowadyjy elementleri (4) ýerleşdirýärler. GG peçden ýakylan gaz kotýol-utilizatora (5) berilýär, bu ýerde ol $400\div 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli sowaýar.

Sowadyjyda (4) we bugly gazan – utilizatoryň (5) sowadyjysynda ýakylýan standart kolçedanyň (gury, 45 % S saklaýan) 1 tonnasynda 1,5 tonna çenli bug alýarlar. Ýakylýan gaz gazandan çykanda siklonlarda (6) tozanyň iri bölejiklerinden arassalanýar, elektrofiltrede (7) tozansyzlandyrylýar we soňra kükürt kislotasyny almak üçin gaýtadan işlemäge berilýär. Gaýnaýan gatlakly peçden ogarok (kül, galyndy), tozan bugly gazan – utilizatoryň bunkerinden, siklondan we elektrofiltreden transportýora (10) berilýär, soňra çyglandyrylýar, sowadyjy barabanda sowadylýar we sehden lentaly transportýor bilen çykarylýar.

Gaýnaýan gatlakly peç (14-nji surat) şahta görnüşinde bolup, polatdan ýasalan, oda çydamly material bilen örtülen.

Ogarok gözenek arkaly (9) bunkere (4) berilýär. Peji ýakmaklyk forsunkanyň (8) kömegi bilen amala aşyrylýar. Ikilenji howa kollektor (10) arkaly berilýär.

Bugly gazan – utilizator kerpiçden ýasalan kamera bolup, böwet bilen bölünendir. Kamerada hatarlaýyn metaldan ýasalan sowadyjylar ýerleşdirilen. Olar suwy goýbermek we suw bugly emulsiýany çykarmak üçin kollektorlara birleşdirilen. Bugly gazanyň aşagynda tozan üçin bunker ýerleşdirilen, ol mehaniki usul bilen aýrylýar. Ýakylma gazy peçden iki sany iç-içine goýlan turbalaryň («turba turbada») seksiyasyna berilýär. Daşky turbalardan suw, içki turbalardan bolsa, ýakylma gazy geçýär.



14-nji surat. Kolçedany ýakmak üçin gaýnaýan gatlakly peç:
 1 –direg rama; 2 – obeçayka; 3 – korpus; 4 – çykaryjy kameranyň
 gözeneginiň aşagyndaky bunker; 5,7 – sowadyjy elementler; 6 – plita;
 8 –forsunka; 9 – çykaryjy kamera; 1 – kollektor.

Ýakylýan gazda SO_3 –ň bolmagy zyýanlydyr. Sebäbi SO_3 elektrofiltirdäki tozanyň dykyz gabygyny emele getirýär. GG peçleriň ýakylýan gazy köp bolmadyk mukdarda SO_3 saklaýar, ol bu peçleriň artykmaçlygydyr. Emma kükürt kislotasy sistemasynyň soňky apparaturasynda gaz sowadylanda SO_2 –ň okislenmegi netijesinde goşmaça SO_3 emele gelýär (okislenmegi üçin katalizator hökmünde kúl tozany, futerowkanyň komponentleri we beýl. hyzmat edýär). Şonuň üçin hem (peçden soň ýerleşdirilen apparatlarda SO_3 –ň emele gelmegini azaltmak üçin) gaýnaýan gatlakly peçden çykýan gaz bugly gazan-utilizatora berilýär, ol ýerde gaz çalt

sowadylýar (gazyň bugly gazan – utilizatordaky wagty 0,5 s az). Şonuň üçin hem gaz SO_2 –niň SO_3 –e okislenmeginiň ýokary tizliginde geçýän temperaturada az wagt saklanýar, netijede SO_3 –ň emele gelýän mukdary köp däl. Gazyň temperaturasy bugly gazan – utilizatordan soň pesdir ($450\text{ }^\circ\text{C}$ – dan pes) we SO_3 emele gelmeýär.

Sink, mis magdanlaryny we konsentratlaryny ýakmak üçin hem gaýnaýan gatlakly peçler ulanylýar. Ol peçler käbir detallary bilen tapawutlanýarlar. Reňkli metallurgiýanyň peçlerinde çig maly ýakmagyň esasy maksady gowy hilli ogarogy almakdyr, ondan soňra reňkli metallary mümkin boldugyça doly almaga çalyşýarlar.

Reňkli metallurgiýanyň gaýnaýan gatlakly peçlerinde ýakmagyň režimi hem kükürt kislotasy önümçiliginde çig malyň ýakylşyndan tapawutlanýar. Mysal üçin, sink magdanyny has ýokary temperaturada ýakýarlar. Ondan başga-da, ýakylýan gazda kislorodyň ýokary konsentراسىsyny saklaýarlar. Munuň özi ogarokdaky sink aňsat alyp bolýan birleşmelere öwrüler ýaly saklaýarlar.

Kolçedanyň peçe berilşi we ogarogyň çykarylşy

Peçleriň konstruksiyasyna we peç bölüminiň kuwwatlygyna baglylykda peçe kolçedanyň berilşi tapawutlanýar. Hemişe birnäçe uly göwrümlü bunkerler goýulýar, olara kolçedan lentaly transportýoryň ýa-da elewatoryň kömegi bilen (ammardan) berilýär. Bunkerden kolçedany wagonetkalara dökýärler, agramyny çekýärler we peçlere geçirýärler. Iri zawodlarda wagonetkalaryň göwrümi $3,5\text{ m}^3$ -a ýetýär. Wagonetkadan kolçedan yzygiderlikde her pejiň bunkerine ýüklenilýär.

Kükürt kislotasy zawodlarynda peçlerden ogarogy aýyrmaklyk kyn we agyr işleriň biridir: ogarogyň temperaturasy ýokary we kükürt galyndylarynyň ýanmagy netijesinde ondan köp mukdarda SO_2 bölünip çykýar. Ogarogy çykarmagyň we sowatmagyň dürli sistemalary ulanylýar. Soňky ýyllarda ogarogy çykarmak üçin

transportorlar ulanylýar. Olar ýasalşynyň ýönekeýligi, arzanlygy bilen tapawutlanýarlar.

Ogarogyň ulanylyşy.

Kolçedan ýakylanda emele gelýän ogarok 50 %-e golaý demir saklaýar we ol çoýuny almakda gymmatly çig mal hasaplanýar. Emma peçden çykýan kül domna prosesleri üçin ýaramsyz, sebäbi ol örän ownuk we ondaky kükürt we reňkli metallar (aýratyn hem mis we sink) domna prosesi üçin rugsat edilýän normadan ýokarydyr. Şonuň üçin, kül ýörite gaýtadan işlenilýär, netijede ondaky kükürdiň mukdary azalýar, demiriň mukdary bolsa 60÷70 %-e çenli artýar. Ogarokdan gymmat bahaly goşundylary alýarlar.

3.4. Kükürdi ýakmak üçin ulanylýan peçler Kükürdiň ýanma mehanizmi

Kükürdiň ýanmagy çylşyrymly prosesdir. Sebäbi kükürt dürli allotrop hallarda dürli atom sanly molekulalary saklaýarlar we olaryň fiziki-himiki häsiýetleriniň temperatura baglylygy ýokarydyr.

Reaksiýanyň mehanizmi we önümiň çykyşy temperatura, şeýle hem kislorodyň basyşyna baglylykda üýtgeýär. Kükürdiň okislenmegi heniz kükürt ýanmanka bolup geçýär. 8,0÷22,66 kPa (0,6-170 mm sim.süt.) we 55÷150 °C-da proses halkaly reaksiýa boýunça geçýär.

Her bir temperatura üçin kislorodyň öz maksimal we minimal basyşy bolýar, şol çäklerden daşynda reaksiýa geçenok. 160÷260 °C-da we normal basyşda sowuk ýalynly ýanma bolup geçýär, ol reaksiýanyň örän pes tizligi bilen häsiýetlendirilýär.

Kükürdi esasan suwuk halda ýakýarlar, şeýle hem gaty, tokga (hapalanan) kükürdi ýakmak üçin peçler ulanylýar. Suwuk kükürdi ýakmak üçin gorizontaý ýerleşdirilen forsunkaly peçler has giňden ýaýran.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde we kagyz-sellýuloza senagatynda kükürdi ýakmak üçin dürli konstruksiýaly peçler ulanylýar.

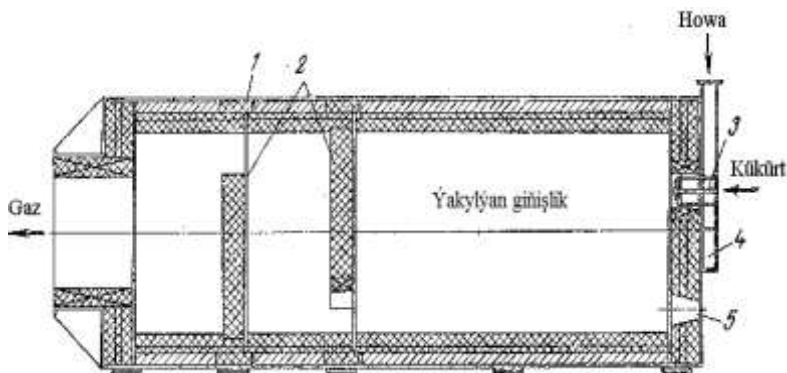
Forsunkaly peçler – polatdan ýasalan gorizontaly ýerleşdirilen silindr, oda çydamly kerpiç bilen örtülen. Kükürdiň ergini bir ýa-da 2 forsunka arkaly berilýär (howa bilen).

Howanyň artykmaç mukdaryny (ikilenji howa) peçiň diwaryndaky deşik arkaly berýärler. Ýanma önümleriniň ikilenji howa bilen gowy garyşmagy üçin peçiň içinde iki sany böwet ýerleşdirilen.

Peçi ýakmak üçin nebit ýa-da gaz forsunkalary hyzmat edýärler, olar kükürdi bermek üçin forsunkalaryň aşagynda ýerleşdirilen. Peçde ýokary temperaturada kükürt ýanýar, şonda ýalyn emele gelýär. Kükürdiň buglarynyň ýanmasy pejiň tutuş göwrümünde bolup geçýär we ol kadaly işlände böwetler arkaly emele gelen kameralarda gutarýar, ol ýere goşmaça howa berilýär.

Wertikal konstruksiýaly aşagyndan kükürt berilýän peç 16-njy suratda görkezilýär. Peç wertikal goýlan silindrik şahtadan ybarat, onuň daşky diametri 4000 mm, beýikligi 7000 mm. Pejiň polat korpusy (2) şamot kerpiç (3) bilen futerowka edilen. Şamot böwet (5) pejiň düýbüne 700 mm ýetenok, ol pejiň giňişligini 2 sany deň bolmadyk böleklere bölýär. Uly böleginde suwuk kükürdi pürkmek üçin forsunka bilen howa gysylýar. Uly bölegiň aşaky bölümünde ýerleşdirilen 3 sany patrübok (7) arkaly peje ikilenji howa berilýär.

Bitum gabygy dargatmak maksady bilen pejiň düýbüne 3 sany patrübok (2) arkaly barbotaj howa berilýär. Kükürdiň buglaryny ýakmak üçin pejiň ýokarky böleginde 4 sany patrübok (4) arkaly üçülenji howa berilýär. Ýakylýan gaz 1000 °C temperatura bilen pejiň kiçi böleginden çykýar we gaz geçiriji (1) boýunça bug gazanly-utilizatora ugradylýar.



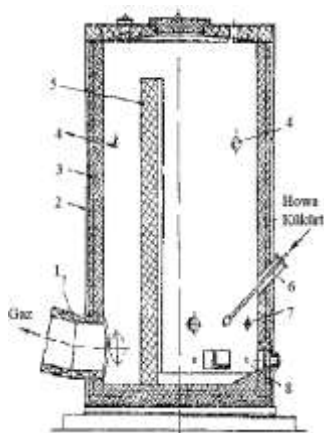
15-nji surat. Gorizontál ýerleşdirilen forsunkaly peç:
 1 – pejiň korpusy; 2 – oda çydamly böwet; 3 – mehaniki hereketli forsunka;
 4 – üflemek üçin koro; 5 – gaz gorelkasy üçin lük.

Suwuk kükürdi ýakmak üçin şeýle hem pejiň ýokarsyndandan kükürt berilýän wertikal peçler ulanylýar (17-nji surat). Şonuň ýaly pejiň wertikal şahtasy (1) we (2) 2 zona bölünen. Suwuk kükürt pejiň ýokarky böleginde (4) ýerleşen 3 sany forsunkalar arkaly pürkülýär.

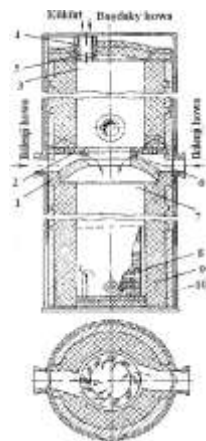
Ýokarky kamera (3) kükürdiň bugarma zonasy, aşaky kamera (7) bolsa – kükürdiň ýanma zonasy bolup durýar. Bugarma kamera (3) başlangyç (birinji) berilýän howa umumy harçlanmazdan 20÷25 % mukdarda berilýär. Howanyň galan bölegi (1) we (2) swodlaryň 2 sany patrubogy arkaly girizilýär we pejiň inçe bölümünde gaz garyndysy bilen garyşandan soň kamera (7) berilýär.

Kameranyň aşaky böleginde (7) beýikligi 1405 mm bolan şamot kerpiçden ybarat bolan goýum goýlan. Ýakylan gaz 1000 °C temperatura bilen kamerada ýerleşen patrubok arkaly çykarylýar. Pejiň korpusy polatdan ýasalan, galyňlygy 343 mm bolan şamot kerpiç bilen futerowka edilen.

Futerowka bilen polat kožuhnyň arasynda galyňlygy 230 mm bolan ýeňil agramly şamot kerpiçden izolýasiýa gatlagy goýulýar. Polat kožuhnyň içki üstüni list asbesti bilen örtýärler.



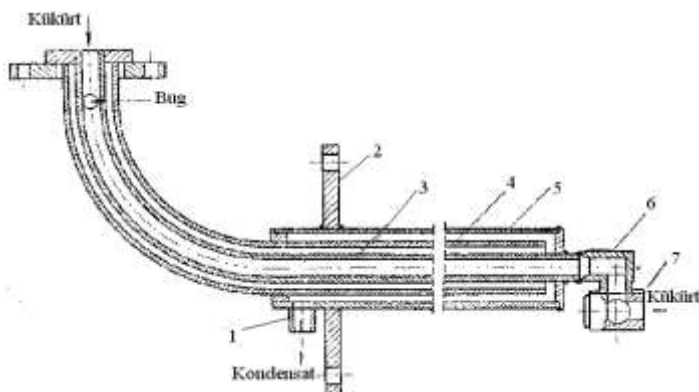
16-njy surat. Pejiň aşagyndan kükürt berilýän wertikal forsunkaly peç.



17-nji surat. Pejiň ýokarsyndan kükürt berilýän wertikal forsunkaly peç.

Peçlerde suwuk kükürdi pürkmeklik pnevmatiki ýa-da mehaniki forsunkalar bilen amala aşyrylýar. Forsunkalaryň üznüksiz işlemegi üçin erediln kükürdi külden we bitumlardan gowy edip arassalamaly bolýar.

Mehaniki forsunkalar kükürdi basyş astynda pürkýärler, basyş nasos bilen döredilýär, ol eredilen kükürdi göniden-göni forsunkalara berýär.

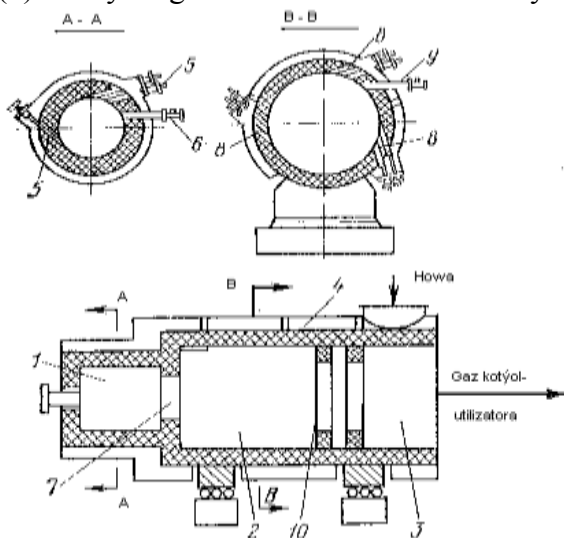


18-nji surat. Kükürdi ýakmak üçin mehaniki forsunka

Mehaniki forsunkalaryň gurluşy 18-nji suratda görkezilen. Suwuk kükürt nasosdan bug bilen gyzdyrylýan turba (3) ýygnanýarlar. Bug (3) we (4) turbalaryň arasyndaky halkaly giňişlik boýunça kondensat çykaryjy patruboga (1) ugradylýar, kükürt bolsa üçlük (6) we siklon (7) arkaly ownuk damjajyklar görnüşinde peç giňişligine zyňylýar. Ol ýerde peje wentilýator arkaly berilýän howada ýanýar. Tozandan saplamak üçin howa önünden filtrlerden geçirilýär. Howany guratmaklyk guradyjy minarada amala aşyrylýar.

Forsunkanyň ähli turbalary we siklonlary ýörite hromnikel polatdan ýasalýar.

Siklonly peçler - 2 sany gorizontall ýerleşdirilen silindrlerden – forkamera (1) we iki sany (2) hem-de (3) kameralardan ybarat (19-njy surat). Forkamera 2 sany soplalaryň 2 sany topary arkaly (5) tangensial howa berilýär, şeýle hem mehaniki tipli forsunka (6) arkaly tangensial eredilen kükürt berilýär.



19-njy surat. Siklonly peçler.

1 – forkamera; 2,3 – ýakylyň kameralar; 4 – howa üçin korob; 5,8 – howa beriji; 6,9 – kükürdi bermek üçin forsunka; 7,10 – gysyjy halka.

Suwuk kükürt ýakylanda emele gelýän ýakylýan gaz kükürdiň buglary bilen bilelikde gysyjy halka (7) arkaly forsunkaly kameradan (forkameradan) 1-nji kamera (2) berilýär (ol kamerada hem howa üçin sopl (8) we kükürdi bermek üçin forsunkalar (9) ýerleşdirilen. 1-nji kameradan gaz gysyjy halka (10) arkaly 2-nji kamera (3) berilýär, ol ýerde kükürdiň galyndylary ýanýar.

Peçden ýakylýan gaz bugly gazan-utilizatora we ondan soňky apparatura berilýär. Siklon peçden soňky gazyň düzümindäki SO_2 –niň konsentrasiýasy peçden soňky gazyň temperaturasyna bagly. Ol forsunkanyň durnuklylygy bilen kesgitlenilýär we $15\div 18\%$ -e ýetýär.

Kükürt amardan ($40\div 50$ mm ölçege çenli owradylan) lentalý transportýoryň kömegi bilen bunkere berilýär, soňra erediji bunkere geçirilýär (ol bug bilen gyzdyrylýar. Eredilen kükürt $130\div 140^\circ\text{C}$ –da kükürt geçiriji boýunça çökdüriji – wanna berilýär.

Çökdürme prosesinde gaty we organiki goşundylar çökýär. Peçe bermezden oň ergini süzýärler. Oňa $0,3\div 0,5$ kg/t (kükürde) diatomit goşýarlar, ol gözenekde süzüji gatlagy emele getirýär. Kāwagt kükürde korrosiýanyň oňünü almak we turşy goşundylary bitaraplaşdyrmak üçin hek goşýarlar.

Gaty kükürdi ýakmak üçin peçler.

Gaty kükürdiň ýanma prosesinde ony oňünden eretmeklik we çökdürmegiň we arassalamagyň ondan soňky kyn göwrümlü operasiýalary aýrylýar. Emma gaty kükürtdä saklanýan goşundylar we hapalar ýanma prosesini kynlaşdyrýarlar we onuň intensiwligini peseldýärler.

Gaty kükürdi peçlerde ýakmak – iki stadiýaly proses. Ilki bilen gaty kükürdiň eremegi bolup geçýär, ondan soň ol bugarýar we kükürdiň buglary howadaky kislorod bilen täsirleşýär. Kükürdiň buglary ýananda bölünip çykýan ýylylyk peje berilýän gaty kükürdi eretmek we bugartmak üçin ýeterlik mukdardan köpdür.

Konstruktiv aýratynlyklary boýunça gaty kükürdi ýakmak üçin peçleri toparlara bölmek bolýar: wanna (serpikdiriji, barbotaž gatlakly), psewdosuwuklanýan (gaýnaýan) gatlakly, kombinirlenen we ş.m.

Gaty kükürdi ýakmak üçin käwagt gaýnaýan gatlakly peçler ulanylýar, asylan görnüşli gatlagy döretmek üçin çäge, şamot owuntygy ulanylýar.

Gaty kükürdi peje bermek we üpjün etmek üçin (wanna, gaýnaýan gatlak) hemişe stasionar we şnekli üpjün edijiler ýa-da jebis rotor üpjün edijiler ulanylýar.

3.5. Kükürtwodorody ýakmak üçin ulanylýan peçler

Kükürtwodorod kükürt kislotasyny (şeýle hem Klaus usuly boýunça alynýan kükürdi) almak üçin çig mal bolup durýar. Onuň esasy konstantalary aşakda görkezilýär:

Molekulýar massalary	34,08
Kritiki konstantalary	
temperatura, °C	100,4
basyşy, MPa (atm)	8,72(88,9)
dykzlygy, g/sm ³	0,310
Ereme temperaturasy, -83,53°C, kJ/mol(kkal/mol)	2,380(0,568)
Atmosfera basyşda ýanma ýylylygy SO ₂ bilen H ₂ O-ny emele getirmegi bilen, kJ/kg (kkal/kg)	572,81(136,71)

Kükürtwodorodyň önümçilik ýerleriniň howasynda çäkli rugsat berilýän konsentrasiýasy 10 mg/m³, ilatly ýerleriň atmosfera howasynda 50 mg/m³, 2,3 mg/m³ konsentrasiýada sy boýunça ýüze çykarylýar. Kükürtwododrodyň howadaky partlama howply konsentrasiýasy 4,3-den 45,5 %-e (göwr.) ýetýär. Kislorod bilen garyndysynda öz-özünden ot alma temperaturasy 220÷235 °C, howa bilen garyndysynda – 346÷379 °C.

Kükürtwodorodyň maksimal ýanma tizligi (40 m/s) 11 % H₂S töweregi saklaýan garyndysynda gazanylýar; çyg gaz garyndysynda (1,6 % suw buglary) ýanma tizligi takmynan 25 % –e çenli peselýär.

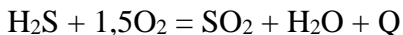
Kükürtwodorodyň suwda ereýjiligi E aşakda görkezilýär:

t, °C	10	20	25	40	50	60	80	100
E, ml/l	3399	2582	2282	1660	1392	1190	917	810

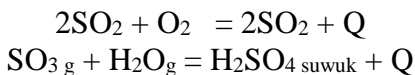
Kükürtwodorod tebigy, ugurdaş, koks, generator we nebiti gaýtadan işlemegiň gazlarynyň goşundysy bolup durýar. Hemişe bu gazlar 0,3÷1,5 % H₂S saklaýar; ugurdaş gazlaryň aýratyn ýataklarynda H₂S –iň konsentrasiýasy 20 % –e ýetýär. Şonuň ýaly gaz göniden-göni kükürt kislotasyna “öl kataliz usuly” boýunça gaýtadan işlenilip bilner.

Kükürtwodorod ýakylýan peçler polatdan ýasalan silindrik kotýol, iç yüzünden oda çydamly kerpiç bilen örtülen (20-nji surat). Peçde bugly gazanyň sowadyjylary ýerleşdirilen. Ol kükürtwodorodyň ýanma temperaturasyny peseltmäge, ony kislorodyň köp bolmadyk artykmaç mukdarynda geçirmäge we bölünip çykýan reaksiön ýylylygy effektiw ulanmaga mümkinçilik berýär. Kükürtwodorod gazy pejiň ýokarky bölegine ýakyjy arkaly berilýär, bu ýerde howa bilen garylýar, soňra fakelde (peçiň içinde emele gelýän) ýanýar. Pejiň aşaky böleginde gazy çykarmak üçin patrübok we goraýjy klapan ýerleşdirilen.

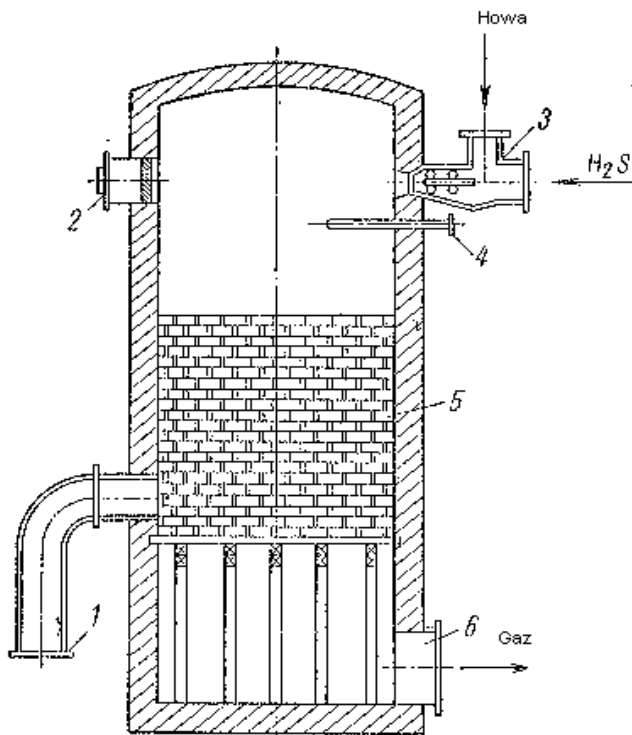
Kükürtwodorodyň SO₂-ä çenli ýakylmagy şu reaksiýa boýunça geçýär:



Kükürtli angidrid «öl kataliz» usuly boýunça katalizatorda suwuň buglarynyň gatnaşmagynda okislenýär:



Alnan garyndynyň kondensasiýasy ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$).



20-nji surat. Kükürtwodorod ýakylýan peç:

- 1 – partlama howpsuz klapan; 2 – peç saklananda görmek üçin lýuk;
 3 - kükürtwodorody ýakmak üçin gorelka; 4 – termojübüt üçin; 5 – şamot
 goýumy; 6 - gazyň çykyşy.

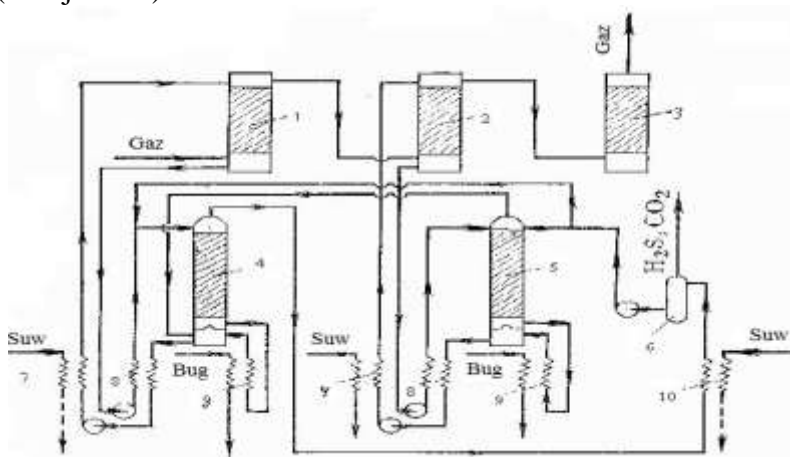
Pejiň temperaturasyny $900 \div 1000$ °C töwereginde saklaýarlar, sebäbi ýokary temperaturada we artykmaç kislorod berlende azot oksidiniň goşundysy emele gelýär. Peç gazynda azot oksidi şeýle hem gazyň düzümindäki garyndy bolan – sinil kislotasynyň ýanmagy netijesinde hem emele gelip bilýär:



Şonuň üçin kükürtwodorody pesrāk temperaturada geçirmeli we howany basgançaklaýyn (kislorodyň ýetmezçiliginde) bermeli, şonda sinil kislotasy kislorodyň ýetmezçiliginde azoty emele getirip ýanýarlar:



Gowşak gazlary baýlaşdyrmak üçin esasan monoetanolamin usuly (bir ýa-da iki basgançakly) ulanylýar (21-nji surat).



21-nji surat. Gazlary iki badgançakly monoetanolamin usuly bilen arassalamagyň shemasy: 1 - nji basgançagyň absorberi; 2 – nji basgançagyň absorberi; 3 – damja tutujy; 4 – 1-nji basgançagyň kowýan kolonnasy;

5 – 2-nji basgançagyň kowýan kolonnasy; 6 – flegma ýygnaýjy;

7 – sowadyjy; 8 – ýylylyk çalşyjy; 9 – gaýnadyjy; kondensator.

Başlangyç gaz yzygider iki sany absorberden gecýär, ondan soň damja tutuja baryar we ondan soňky gaýtadan işlemeklige ugradylýar. I basgançagyň absorberi 25÷35 °C–da 25÷30 %-li monoetanolamin ergini bilen suwarylýar. II basgançagyň absorberi şol bir temperaturada 5÷12 %-li ergin bilen suwarylýar, ol kükürtwodorodyň we uglerod dioksidiniň galyndylaryny ýuwudýar we bir wagtda konsentirlenen erginiň üstünden buguň basyşynyň ýokarylygy netijesinde I

basgançagyň absorberindäki gazlary tutýar. H_2S bilen CO_2 -ni ýuwdan monoetanolaminiň konsentirlenen ergini I basgançagyň absorberinden nasos ýa-da gazyň basyşy astynda (eger gaz basyş astynda bolsa) ýylylyk çalşyýjy arkaly I basgançagyň kowýan kolonnasyna berilýär.

Kowýan kolonna berilmezden öň ergini ýylylyk çalşyýjyda I basgançagyň kowýan kolonnasyndan çykýan regenerirlenen erginiň ýylylygynyň hasabyna gyzdýrýarlar. Kolonnada erginden H_2S bilen CO_2 -niň desobsiýasy $115\div 120^\circ C$ temperaturada bolup geçýär, ol bug bilen gyzdýrylýan gaýnadyjyda emele gelýän ikilenji buguň ýylylygynyň hasabyna döredilýär. Kowýan kolonnanyň aşaky bölegine bir wagtda II basgançagyň kowýan kolonnasynda buglar barýar.

Bug-gaz garyndysy I basgançagyň kolonnasyndan kondesnatora berilýär, bu ýerde suw bilen $36\div 40^\circ C$ – a çenli sowadylýar. Şonda suw buglarynyň köp bölegi kondensirlenýär, kondensat flegma ýygnaýjysynda gazdan bölünýär we 1-nji, 2-nji basgançagyň kowýan kolonnalaryna gaýtarylýar. H_2S we CO_2 saklaýan turşy gazlar ulanmak üçin ugradylýar. Ergin II basgançagyň absorberinden ýylylyk çalşyýjy arkaly II basgançagyň kowýan kolonnasyna regenerasiýa üçin berilýär, soňra sowadyjy arkaly II basgançagyň absorberine gaýtarylýar. II basgançagyň kolonnasynda regenerasiýa $125\div 130^\circ C$ -da geçýär.

Tehnologiki ýa-da beýleki gazlar arassalanylanda bölünip çykýan kükürtwodorod gazy iki topara bölünýär: konsentirlenen ($90 \div 94\%$ H_2S) we pes konsentirlenen ($3\div 7\%$ H_2S). Konsentirlenen gazy ýakmak üçin peç bölümi peçden, kotýol-utilizatordan we wentilýatordan ybarat.

4. ÝAKYLÝAN GAZY TOZANDAN, ÜMÜRDEN ARASSALAMAK

Peçden çykýan gaz çig malyň ýanma prosesinde gaz akymy bilen çykýan bölejikleriň tozanyny saklaýar. Gazdaky tozanyň bölejikleri ýakylyan çig malyň hiline, onuň bölejikleriniň ululyklaryna, pejiň konstruksiýasyna we b. bagly. Mehaniki peçlerde kolçedan ýakylanda alynýan gazyň tozanlylygy 1-den 10 g/m³-a, tozangörnüşli ýakylyan peçlerde - 20-den 100 g/m³; GG peçlerde – 300 mg/m³-a çenli ýetýär (adaty şertlerde getirilen gazyň göwrümüne hasaplap).

Aşakda flotasion kolçedany ýakmak üçin GG peç bilen enjamlaşdyrylan peç bölüminiň dürli uçastoklarynda gazdaky takmynan tozanyň mukdary görkezilen:

GG peçden soň	300	Siklonlardan soň	20
Bugly gazan-utilizatoryňk	200	OG-4 elektrofiltrlerden soň	0,05

Ýakylyan gazyň tozany himiki düzümi boýunça galyndydan tapawutlananok. Ony ýakylyan gazdan aýyrýarlar, sebäbi ol apparaturany hapalaýar, apparatlaryň we turbageçirijileriň gidrawliki garşylygyny artdyrýar, önümi hapalaýar we önümçilik prosesinde başga köp kynçylyklary döredýär.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginiň dürli stadiýalarynda kükürt kislotasynyň ümüri emele gelýär. Ol apparaturanyň çüýremegine, önümiň hiliniň pes bolmagyna we beýl. getirýär. Ümür diýlip gazda asylan görnüşinde suwuklygyň damjalaryndan ybarat bolan dispers sistema aýdylýar.

Ümür iki sany biri-birinden tapawutlanýan prosesleriň netijesinde emele gelýär: suwuklygyň mehaniki ownadylmagy we onuň kondensirlenmeýän gaz garyndysyndan buguň göwrümde kondensasiýasy (kondensasiýa ümüri).

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde suwuklygyň ýaýramagy kükürt kislotaşy boş başnyalarda pürkülende, kislota skrubber başnyalaryň goýumynyň ýokarky bölegine

berlende, şeýle hem başnýanyň aşaky böleginde suwuklyk apparatyň düýbüne urlanda bolup geçýär. Emma, bu ähli ýagdaýlarda ümüriň syçramalary we iri damjalary emele gelýär. Olary siklonlarda we damja tutujylarda tutup almak bolýar.

Kontakt prosesiniň 1-nji ýuwujy minarasynda (başnýa), guradyjy minarada, ýylylyk çalşyjylarda we angidrid sowadyjylarda, oleum we monogidrat absorberlerde we beýl. emele gelýän ýokarydispers kondensasion ümür uly kynçylyklary döredýär. Öl kataliz usuly boýunça kükürt kislotasy alnanda minara-kondensatorda kükürt kislotasynyň 35%-e golaýy ümüre öwrülýär. Kükürt kislotasynyň ümüri şeýle hem nitroz prosesiniň denitrasion we 1-nji önüm berýän minarada emele gelýär. Minaraly sistemalarda ümüri bölüp almak üçin ýörite filtrler ulanylýar.

Kondensasion ümüriň emele geliş şertleri. Buguň suwuklyga öwrülme prosesi (kondensasiýa) üstünde ýa-da göwrümde bolup geçýär. Eger onuň temperaturasy buguň temperaturasyndan pes bolsa, buglar üstünde kondensirlenýär. Göwrümde kondensirlenende buglar gazda bar bolan ýa-da emele gelen kondensasiýa merkezinde suwuklygyň damjalaryna öwrülýärler. Başda kondensasiýa merkezleri suwuklyk plýonkasy bilen örtülýär, soňra suwuklygyň ownuk damjalaryna öwrülýär, ýagny ümür emele gelýär.

Buglaryň üstde ýa-da göwrümde kondensasiýa düşünjesini çäklendirmek şertleýindir. Iki ýagdaýda hem buglar üstde kondensirlenýärler: birinji ýagdaýda – apparatyň diwarlarynda ýa-da suwuklykly plýonkada, ikinji ýagdaýda – kondensasiýa merkezleriniň üstünde. Şonuň ýaly merkezler gazda asylan görnüşli gaty bölejikler, ýa-da daşyndan girizilen ýa-da fluktuasiýa netijesinde öz-özünden dörän (ýagny, buglaryň dykzyzlyklarynyň we temperaturanyň ýerli üýtgemeleri) suwuklygyň ownuk damjalary bolup biler.

Bug-gaz garyndysy suwuklyk bilen öllenen tekiz üst bilen galtaşanda her suwuklyk üçin buglaryň deňagramly

basyşy bolýar (kesgitlenýär), ol doýgun buguň basyşy diýlip atlandyrylýar. Deňagramlylyk ýagdaýy tükeniksiz az artdyrylanda ýa-da üstüň ýokarsynda basyş peselende hem bozulýar. Şonda, buglaryň basyşy ýokarlanan wagtynda olaryň üstde kondensasiýasy bolup geçýär; buglaryň basyşynyň peseldilmegi üstden suwuklygyň bugarmagyna getirýär.

Eger-de gaz fazada buglaryň basyşy doýgun buguň basyşyndan köp bolsa, onda bug aş doýan diýilýär. Buglaryň aş doýgunlaşmasy S deňleme bilen aňladylýar:

$$S = \rho/\rho_{\infty}$$

bu ýerde ρ – gaz garyndysynda buglaryň basyşy; ρ_{∞} - şol bir temperaturada suwuklygyň tekiz üstünden doýgun buguň basyşy.

Buglar doýgunlaşmanyň S kritiki (S_{kr}) diýlip atlandyrylýan kesgitli bir ululygynda göwrümde kondensirlenýärler.

Şeýlelikde, ümüriň emele gelme prosesi 3 stadiýany öz içine alýar; aş doýan buguň ýüze çykmagy, kondensasiýa merkezleriniň emele gelmegi we aş doýgun budga kondensasiýa merkezleriniň başlangyjynyň ümüriň damjalaryny emele getirýänçä ulalmagy.

4.1. Mehaniki usul bilen arassalamak

Gazy tozandan we ümürden mehniki usul bilen arassalamak üçin ulanylýan apparatlaryň işleýiş prinsipi agyrylyk güýjüne ýa-da merkezden daşlaşýan güýjüň täsirine esaslanan.

Laminar gaz akymynda agyrylyk güýjüniň täsiri astynda gazda diametri 1-den 100 mkm-e çenli bolan asylan görnüşli bölejikleriň erkin çökme tizligi w (m/s) şu deňleme arkaly aňladylýar:

$$\omega = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\mu}$$

bu ýerde, d - bölejikleriň diametri, m; ρ_1, ρ_2 - bölejikleriň we gazyň dykyzlygy, kg/m^3 ; μ - dinamiki süýgeşikligi, kgs/m^2 .

Merkezden daşlaşýan güýjüň täsirine bölejikleriň çökdürilmegi töwerek boýunça R radius bilen aýlanýan bölejikleriň merkezden daşlaşýan güýjüň meýdanynda ýerleşýändigine esaslanan.

Şar görnüşli bölejikleriň şol güýjüň täsirine çökmekliginiň tizligi şu deňleme arkaly aňladylýar:

$$\varpi_1 = \frac{d^2 \rho \cdot v^2}{18R\mu}$$

bu ýerde d - bölejikleriň diametri, m; ρ - bölejikleriň dykyzlygy, kg/m^3 ; v - akymyň tizligi, m/s; R - aýlanma tizligi, m; μ - sredanyň süýgeşikligi, $\text{kg/(m}\cdot\text{s)}$.

Merkezden daşlaşýan güýjüň meýdanynda gazlary tosandan we syçramalardan arassalamak üçin ulanylýan apparatlara merkezden daşlaşýan tozan tutujylar ýa-da siklonlar diýilýär.

Siklonyň hereketi şundan ybarat. Gaz akymy apparata tangensial girýär we merkezi çykarýan turbanyň okunyň daşyndan aýlanýar. Bölejikler, ω tizlik bilen radial aýlanyp, siklonyň diwaryna ýetýärler, ondan taýyp bunkere düşýärler. Arassalanan gaz merkezi turba boýunça ýokardan çykýar.

Deňlemeden görnüşi ýaly, siklonyň öndürijiligi ondaky gazyň tizliginiň artmagy bilen ýokarlanýar. Emma, şonuň bilen bir wagtda siklonyň gidrawliki garşylygy hem artýar. Siklona gazyň tizligini 7-20 m/s-a deň diýip kabul edýärler, şonda gidrawliki garşylyk 400 Pa-a deň bolýar.

Kükürt kislotasynyň ümürini we syçramalaryny bölüp almak üçin has giňden ýaýran mehaniki tipli apparatlar ulanylýar, olarda gaz örän inçe kislota durnukly süýümiň gatlagyndan geçýär. Bu filtrlr bilen ümüriň damjalarynyň bölünmeginiň tizligi çylşyrymlydyr. Süýümlü filtrlr gorizonta, şeýle hem wertikal süzüji gatlakly bolýar. Gorizonta filtrlr guradyjy başňalaryň we absorberleriň ýokarky bölegine goýulýar. Wertikal süýümlü gatlakly filtrlr başňanyň ýokarky böleginde ýa-da onuň daşyna çykarylan bolýar.

Aýna süýümden bolan wertikal filtrlr monogidrat absorberlerden soň gazy arassalamak üçin ulanylýar.

Gazy tozanyň we ümüriň ownuk damjalaryndan mehaniki usul bilen arassalamaklyk arassalamagyň ýokary derejesini üpjün edenok. Şonuň üçin, kükürt kislotasynyň önümçiliginde gazy gowy arassalamaklyk talap edilýän bolsa, gazy öňünden arassalamak üçin mehaniki usul elektrik usul bilen utgaşdyrylýar.

4.2. Elektrik usul bilen arassalamak

Bu usul has effektiv, emma ol gymmat düşýär. Kükürt kislotasy senagatynda gazy tozandan we kükürt kislotasynyň ümürinden arassalamak üçin elektrik usul giňden ulanylýar. Bu usulda gaz iki sany elektrodyň arasyndan geçirilýär, olaryň biri ýere berkidilen (çökdüriji elektrod), beýlekisi - ýokary naprýaženiýaly hemişelik toguň çeşmesine otrisatel polýus bilen birleşdirilen (koronirleýji elektrod). Elektrodларыň arasynda gazyň ionizasiýasy geçýär, ionlar tozanyň we ümüriň asylan bölejiklerine birleşýärler we ony zarýadlandyrýarlar. Zarýadlanan bölejikler zarýadyna laýyklykda elktrodларыň birine çekilýärler.

Asylan gaty we suwuk bölejiklerden (aerozol) gazy elektrik usuly bilen arassalamak üçin ulanylýan apparatlara elektrofiltrler diýilýär. Turba görnüşli çökdürijili elektrodly we plastinkaly elektrofiltrler ulanylýar. Turbaly çökdüriji

elektrodyň merkezinde koronirleýji elektrod (dartylan sim) ýerleşdirilen.

Plastinkaly elektrofiltirlerde çökdüriji elektrodlar hökmünde plastinalar (ýa-da torlar) hyzmat edýärler; koronirleýji elektrodlar plastinalaryň arasynda simleriň hatary görnüşinde ýerleşdirilen, olar biri-birinden we plastinadan deň aralykda ýerleşen.

Koronirleýji elektrodyň ýanyndaky uly bolmadyk giňişlik (ol ýerde gazyň ionizasiýasy bolup geçýär) korona oblasti diýlip atlandyrylýar. Bu oblastda mahsus bolan ýagtylanma we ses ýüze çykýar. Korona oblastynda položitel we otrisatel zarýadlanan ionlar hereket edýärler; tozanlar bilen golaýlaşyp ionlar olary zarýadlandyrýarlar. Zarýadlanan bölejikler elektrik meýdanyň täsiri astynda ters belgili elektrodlara tarap süýşýärler (položitel zarýadlanan – otrisatel elektroda we tersine). Koronirleýji elektrod otrisatel belgili bolýar we ondan turbanyň diwarlaryna otrisatel zarýadlanan tozanjyklar süýşýärler. Tozanjygyň köp bolmadyk mukdary korona oblastynda položitel zarýady alýarlar we koronirleýji elektrodta çökýärler. Koronanyň obkasynyň daşynda tozanjyklar diňe otrisatel zarýady alyp bilýärler, olarda tozanyň esasy mukdary çökýär.

Elektrofiltirde esasy güýç bölejikleriň zarýadyna täsir edýän elektrik meýdanyň güýçleri bolup durýar. Şonuň täsiri sebäpli bölejikler çökdüriji elektrodlara süýşýärler.

Tozan kontakt sistemalaryň işleýşini örän kynlaşdyrýar; ol minaralaryň goýumyny hapalaýar we kislotalaryň sowadyjysynda ýylylyk geçirme koeffisiýenti peseldýär; has ownuk tozan gazyň akymy bilen kontakt apparata çenli ýetip bilýär. Emma, gazy tozandan arassalamagyň derejesini ýokarlandyrmagyň arassalaýjy gurluşlaryň gurluşygyna harajatlaryň we olary hyzmat etmek boýunça harçlanmalaryň köpelmegine getirýär. Şonuň netijesinde her aýratyn ýagdaýda gazy tozansyzlandyrmagyň optimal derejesini tehniki-ykdysady hasaplamalaryň esasynda kesgitleýärler.

Gazy kükürt kislotasynyň ümürinden arassalamak üçin ulanylýan elektrofiltrler *öl elektrofiltrler* diýlip atlandyrylýar. Çökdüriji elektrodларыň gurluşyna baglylykda öl elektrofiltrler şu toparlara bölünýärler: plastinkaly, turbaly we öýjükli. Öýjükli elektrofiltrlerde çökdüriji elektrodlar alty burçly turbalar bolup, olar öýjükler görnüşinde pakete ýygnalan.

Plastinkaly elektrofiltrlerde elektrik meýdan kameranyň kesimi boýunça gyradeň ýaýranok. Şonuň üçin, birmeňzeş ölçeglerde plastinkaly elektrofiltrleriň öndürijiligi turbaly we öýjükli elektrofiltrleriňkiden pesdir. Öýjükli elektrofiltrler has effektiw, olary ýasamak üçin turbaly elektrofiltrler bilen deňeşdirilende ep-esli az material harçlanýar.

5. ÝAKYLÝAN GAZYŇ ÝÖRITE ARASSALANYLYŞY

5.1. Arassalama prosesiniň fiziki-himiki esaslary

Arassalaýjy bölümde gaz kükürt kislotasy önümçiliginiň kontakt bölümüne berilýän gazda rugsat berilmeýän goşundylardan (tozanyň galyndysyndan, myşýakdan, ftor, suw buglaryndan we beýl.), şeýle hem gymmat bahaly goşundylary almak üçin (selen, tellur we b.) arassalanýlar.

Tehologik režimiň kadasyna laýyklykda gaz arassalanandan soň onuň düzüminde gazyň mukdary 100 mg/m^3 ýokary bolmaly däl. Täze taslanýan zawodlarda 50 mg/m^3 -a çenli arassalamak göz önünde tutulýar.

Ýakylýan gazyň bug- we gaz- halynda bolan esasy goşundylary (As_2O_3 , SeO_2 we beýl.) gaz kükürt kislotasy bilen ýuwlanda bölünip çykýar, onuň temperaturasy arassalanan gazyň temperaturasyndan pes. Bu goşundylar kükürt kislotasynda bölekleyin ereýärler, olaryň köp bölegi kükürt kislotasynyň ümüriniň düzümine geçýär.

SO_2 -den başga-da ýakylýan gaz SO_3 -ň we suw buglarynyň köp bolmadyk mukdaryny saklaýar, olar gaz sowadylanda kükürt kislotasynyň buglaryny emele getirmek bilen täsirleşýärler. 1-nji ýuwujy başnýada (minarada) gaz örän tiz sowaýar, şonda kükürt kislotasynyň buglary göwrümde ümür (gazda ownuk asylan görnüşli damjalar) görnüşinde kondensirlenýärler.

Kükürt kislotasynyň ümüriniň damjalarynyň üstüniň jemi örän ýokary, şonuň üçin olarda As_2O_3 , SeO_2 we b. goşundylaryň köp mukdary ereýär, olar ýuwujy başnýalarda we elektrofiltrlerde gazdan ümür bilen bilelikde bölünip çykýarlar. Gazy ümürden gowy edip arassalamaklyk diňe bir kontakt massany zäherleýän goşundylardan däl-de, ümüriň damjalarynda bar bolan kükürt kislotasyny arassalamak üçin hem zerurdyr. Gaz apparaturadan we turbageçirijilerden

geçende bu ümür olaryň diwarlarynda çöküp, korroziýany ýüze çykarýarlar.

Kontakt bölümindäki ümür görnüşli kükürt kislotasynyň dargadyjy täsiri has uludyr. Kükürt kislotasy kontakt apparatlaryň, gyzdıryjylaryň we ýylylyk çalşyjylaryň turbalarynyň metallary bilen täsirleşende emele gelýän korroziýanyň önümleri apparaturanyň garşylygyny ýokarlandyrýarlar, ýylylyk geçirme koeffisiýenti peseldýärler we kontakt massanyň başdaky gatlaklarynda gaty gabyklaryň emele gelmegini (çökmegini) ýüze çykarýarlar.

5.2. Ümür görnüşli goşundylaryň bölünmegi

Ýakylýan gaz iki sany ýuwujy başňalarda sowadylýar, olaryň birinjisi 50÷60 %-li, ikinjisi bolsa 15÷25 %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýar. Şonda emele gelen ümür diňe (30÷50 %) ýuwujy başňalarda bölekleyin ýuwdulýar, olaryň doly bölünmegi diňe öl elektrofıltrlerde bolup geçýär.

Elektrofıltrlerde ümüriň bölünmeginiň şertlerini gowulandyrmak üçin gazyň temperaturasyny peseldýärler we ikinji ýuwujy we çyglandyryjy başňalarda suwarýan kislotanyň konsentrasiýasyny azaldýarlar. Gazyň otnositel çyglylygy artýar, ol bolsa suw buglarynyň ümüriň damjalary bilen ýuwdulmagyna we damjalaryň ölçeginiň ulalmagyna getirýär.

Öl elektrofıltrlerde gazyň temperaturasy daşky gurşawa ýylylygyň ýitgisiniň bolmagy netijesinde has hem peselýär. Munuň özi gazyň otnositel çyglylygynyň artmagyna we ümüriň damjalarynyň ondan soňky ulalmagyny ukyplaşdyrýar.

Damjalaryň (bölejikleriň) ölçeginiň ulalmagy bilen olar elektrofıltrde ýokary zaryady kabul edýärler we soňa laýyklykda uly güýç bilen çökdüriji elektrodlara çekilýärler. Mysal üçin, eger kükürt kislotasynyň konsentrasiýasyny birinji ýuwujy başňada $C_1 = 75\% \text{ H}_2\text{SO}_4$, çyglandyryjy başňada bolsa $C_2 = 5\% \text{ H}_2\text{SO}_4$ diýip kabul etsek, onda gazyň

çyglanmagynyň netijesinde ümüriň damjalarynyň göwrümi birinji başdaky v_1 göwrümden v_2 göwrüme çenli üýtgär, ýagny,

$$V_1 \cdot \rho_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot \rho_2 \cdot C_2$$

Bu ýerde ρ_1, ρ_2 - 75 % we 5 %-li kükürt kislotasynyň dyklyzlygy.

Bu deňlikden peýdalanyň bölejikleriň diametrini tapmak bolýar:

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt[3]{\frac{C_1 \rho_1}{C_2 \rho_2}} = \sqrt[3]{\frac{75 \cdot 1,67}{5 \cdot 1,032}} = 2,9$$

Şeýlelikde, kislotanyň konsentrasiýasynyň peselmegi bilen elektrik meýdanda damjanyň hereketiniň tizligi onuň ölçeginiň 3 esse artmagyna proporsional ýokarlanýar.

5.3. Gazyň guradylyşy

2-nji ýuwujy we çyglandyryjy başňalarda gaz suw buglary bilen doly doýgunlaşýar, şonuň üçin, guradyjy başňa barýan gazda suw buglarynyň saklanyşy onuň temperaturasyna we ikinji ýuwujy başňany suwarýan kislotanyň konsentrasiýasyna bagly.

Suw buglary wanadiý kontakt massasy üçin zyýansyz, emma olaryň gazda saklanmagy kontakt bölümiň ýylylyk çalşyjylarynda kislotanyň kondensasiýasyna we absorpsion bölümde ümüriň emele gelmegine getirýär. Şoňa baglylykda çykýan gazlar bilen kükürt kislotasynyň ýitgisiniň köp bolmagy mümkin, sebäbi ümür adaty absorpsion başňada gowy tutulanok. Bu ýerden ýakylýan gazy arassalaýjy bölümde gowy guratmaklygyň zerurlygy aýdyň görünýär.

Gazy guratmaklyk goýumly başňalarda geçirilýär, ol ýerde suw buglary guradyjy başňany suwarýan

konsentrlenen kükürt kislotasy bilen absorbirlenýärler. Guradyjy başnyadan çykýan gazyň çyglylygy $0,08 \text{ g/m}^3$ ($0,01 \%$ göwr. $\%$) ýokary geçmeli däl.

Gazdan alynýan suw buglary guradyjy kislota bilen bilelikde absorbsion bölüme berilýär, bu ýerde SO_3 –den kükürt kislotasy alynýar.

Goýumly başnyalarda suw buglarynyň we beýleki gazlaryň absorbsiýasynda gazyň ýuwdulmagy suwuk absorbent bilen suwarylýan goýumyň üstünde geçýär: goýumyň üsti uly boldugyça, absorbsiýa şonça-da doly we tiz geçýär.

Emma, goýumyň üstüniň artmagy bilen absorbsion başnyanyň ölçegi hem artýar we olaryň bahasy ýokarlanýar. Şonuň bilen baglylykda goýumyň minimal üstünde absorbsion prosesiniň effektiwligini ýokarlandyrmagyň usullarynyň ähmiýeti uludyr. Ýagny, ony absorbsiýa koeffisiýentini ýokarlandyrmagyň ýoly bilen gazanmak bolýar, ol köp derejede gazyň tizligine bagly bolýar.

Absorbsiýa tizligi $[\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{Pa})]$, ýa-da $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{mm} \cdot \text{sim} \cdot \text{süt})$] şu deňleme arkaly hasaplanylýar:

$$K = K_0 \cdot w^m$$

bu ýerde, K_0 - gazyň tizligi 1 m/s bolanda, absorbsiýa koeffisiýentine deň bolan konstanta; w - minaradaky gazyň fiksiw tizligi, m/s ; m - laminar akymda $0,5$ we turbulent akymda $0,8$ -e deň bolan koeffisiýent.

Gazyň tizligi artdyrylanda absorbsiýanyň intenziswligi ýokarlanýar. Mysal üçin, gazyň tizligi 2 esse ýokarlananda absorbsiýa koeffisiýenti $1,75$ esse artýar, şonuň üçin, absorbsion başnyalaryň öndürjiligi wagt birliginde olardan geçirilýän gazyň mukdary köpeldilende ep-esli ýokarlanylýar. Emma, gazyň mukdarynyň köpelmegi bilen syçramalaryň çykmagy we başnyalaryň gidrawliki garşylygy artýar, ol bolsa köplenç absorberleriň öndürjiligin ýokarlandyrmaga päsgel berýär.

5.4. Guradyjy başnýada ümüriň emele gelmegi

Suw buglary kükürt kislotasy bilen ýuwdulanda köp ýylylyk bölünip çykyar, bu hem kükürt kislotasynyň ümüriň emele gelmegine getirýär, ol gaz akymy bilen başnyadan soň goýlan apparatura geçýär we onuň çüýremegini ýüze çykarýar.

Guradyjy başnýada ümüriň emele gelme mehanizmini şunuň ýaly göz önüne getirmek bolar. Gazyň guradyлма prosesinde suw buglarynyň kükürt kislotasy bilen absorbsiýasy bilen bir wagtda kislotanyň bugarmagy bolup geçýär, onuň buglary gazyň düzümine geçýär.

Guradylýan gaz 40 g/m^3 -a çenli suw buglaryny we köp bolmadyk mukdarda H_2SO_4 -ny saklaýar.

Kükürt kislotasynyň buglardaky konsentrasiýasy pes, pes konsentrasiýaly kükürt kislotasynyň üstünden doýgun buguň basyşy ujypsyz, şonuň üçin hem ähli buglar ümüre geçýär.

Guradyjy başnýada emele gelen ümüriň mukdaryny hasaplamak guradyjy başnýada bugarýan kükürt kislotasynyň mukdarynyň kesgitlenilmegine getirýär, ol absorbsiýa deňlemesi boýunça tapylyp bilner.

Guradyjy başnýany suwarýan kislotanyň temperaturasynyň ýokarlanmagy bilen emele gelyän ümüriň mukdary köpeliýär, şonda doýgun buguň basyşy artýar.

Guradyjy başnýa 60°C -da 90 %-li kükürt kislotasy bilen suwarylanda gazdaky ümüriň mukdary 2 mg/m^3 -a ýetýär, kislotanyň konsentrasiýasy 95 %-e çenli köpeldilende bolsa 11 mg/m^3 -a ýetýär, ýagny, kesgitlenen kadadan 2 esse ýokary geçýär (5 mg/m^3).

Eger sistemada iki sany yzygider guradyjy başnýalar goýlan bolsa, onda olaryň birinjisi (gazyň geçişi boýunça) hemişe $90 \div 92$ %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýar, şeýlelikde, bu başnýada ümüriň emele gelmeginiň mümkinçiligi praktiki taýdan aýrylýar, ikinji guradyjy başnýany $93 \div 95$ %-li kükürt kislotasy bilen suwarýarlar, onda

hem ümüriň emele gelmegi az, şonuň üçin bu başnýa barýan gazda suw buglarynyň saklanyşy örän ujypsyz. Şeýlelikde, bu ýerde suw buglarynyň absorbsiýasynda bölünip çykýan ýylylygyň mukdary birinji guradyjy başnýadakydan az; kislota bilen gazyň temperatura tapawudy hem ep-esli az.

Gazy guratmagyň prosesiniň optimal režimini saýlap almak üçin birnäçe faktorlary hasaba almaly. Guradyjy kislotanyň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy bilen goýumyň az üstüniň bolmagy talap edilýär (položitel faktor), emma, şonda guradyjy başňalara geçirilýän monogidratyň mukdary köpeliýär, SO_2 -niň ýitgisi artýar, ümüriň emele gelmegi güýçlenýär, şeýle hem alynýan kislotanyň temperaturasy ýokarlanylýar we beýl. (otrisatel faktorlar). Guradyjy kislotanyň temperaturasy ýokarlananda SO_2 -niň ýitgisi azalýar, kislotany sowadyjylarda zerur bolan ýylylyk çalyşma üsti kiçeliýär (položitel faktor), emma, goýumyň üsti artýar, kislota sowadyjylarda turbalaryň korroziýasy we ümüriň emele gelmegi tizleşýär we ş.m. (otrisatel faktorlar).

Şu ähli kanunalaýyklyklary hasaba alyp, birinji guradyjy başňany suwarmak üçin berilýän kislotanyň optimal konsentrasiýasy $91 \div 93$ % çäklerinde kabul edilmeli, ikinji başňany suwarmak üçin (ýa-da, eger ikinji başnýa bolmasa, birinjini) – $93 \div 95$ %-li kükürt kislotasy bilen suwarmaly; bu başňalary suwarýan kislotanyň temperaturasyny $40 \div 50$ °C töwereginde saklamak teklipe edilýär.

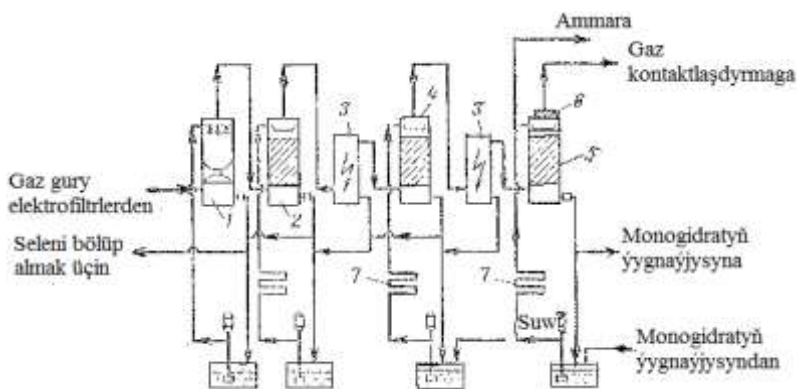
5.5. Häzirki zaman kontakt zawodyň arassalaýjy bölümi

5.5.1. Arassalaýjy bölümiň shemasy

Tozandan arassalanan ýakylýan gaz (22-nji surat) $50 \div 60$ %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýan 1-nji ýuwujy minara (başnýa) barýar. Şonda gaz sowap, onuň esasy goşundylary (SO_3 , As_2O_3 , TeO_2 we Re_2O_7) ümüre öwrülýär, olaryň köp bolmadyk mukdary şol minarada suwarylýan

kislota bilen absorbirlenýär. Ondan soň gaz ikinji ýuwujy minara (2) ugradylýar, bu minara 15÷25 %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýar. Bu ýerde gazyň ondan soňky sowamagy bolup geçýär we goşmaça ümür bölünip çykýar. Onuň köp bölegi (2-nji ýuwujy minaradan soňky gazyň mukdaryndan 95 % töweregi) elektrofiltrleriň (3) birinji basgançagynda çökdürilýär we gazda ümüriň diňe has ownuk damjalary galýar.

Elektrofiltrleriň (3) 2-nji basgançagynda ümüriň çökmeginiň şertlerini gowulandyrmak üçin, gazy 5 %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýan çyglandyryjy minara (4) berýärler. Şonda gazyň oňnositel çyglylygy ýokarlanýar we ümüriň damjalarynyň ölçegi olaryň suw buglaryny ýuwutmagynyň netijesinde artýar. Damjalaryň ölçeginiň ulalmagy bilen olaryň zarýady artýar we elektrik meýdanda hereketiň tizligi ýokarlanýar. Çyglandyryjy minara bolmadyk ýagdaýynda has kuwwatly elektrofiltrleriň goýulmagy talap edilýär.



22-nji surat. Arassalaýjy bölümiň shemasy

1 - 1-nji ýuwujy minara; 2 - 2-nji ýuwujy minara; 3 - öl elektrofiltrler;
4 - çyglandyryjy minara; 5 - guradyjy minara; 6 - filtr; 7 - kislota sowadyjy.

Ümürden arassalanan, emma, köp mukdarda suw buguny saklaýan gaz guradyjy minara (5) barýar, ol başnýa

93÷95 %-li kükürt kislotasy bilen suwarylýar. Bu minarada kükürt kislotasy suw bugunyň ýuwdulmagy netijesinde suwuklanýar. Guradylan gaz güýçlendiriji bilen indiki duran apparatura ugradylýar.

Minaranyň ýokarky böleginden gaz akymy bilen çykýan kükürt kislotasynyň syçramalary filtrde (6) gazdan bölünip aýrylýar.

Ýuwujy minarany suwarýan kislota, gyrgyz ýakylýan gaz bilen gyzdyrylýar. Guradyjy minarada kislotanyň gyzdyrylmagy suw buglarynyň kükürt kislotasy bilen absorbsiýasynda bölünip çykýan ýylylygyň hasabyna bolup geçýär.

Minaralary suwarýan kislotany sowatmak üçin sowadyjylar (7) goýlan. Birinji ýuwujy minarada şeýle hem seleniň we tozanyň (gury elektrofiltrlerden soň galan) esasy mukdary çökýär. Bu tozan suwarýan kislota geçip, ony hapalaýar. Kislotanyň bir bölegi birinji ýuwujy minaradan soň şlamy emele getirýän seleni we tozany bölüp almak üçin ugradylýar.

Ýuwujy minaralary suwarýan kükürt kislotasynyň konsentrasiýasy ýakylýan gazda bar bolan SO_2 -niň ýuwdulmagynyň hasabyna ýokarlanýar. Şonuň üçin, kükürt kislotasynyň berlen konsentrasiýasyny saklamak üçin çyglandyryjy minaranyň (ýa-da ikinji ýuwujy minaranyň) önünde goýlan ýygnaýja üznüksiz suw berilýär. Şonda emele gelen artykmaç kislota ikinji ýuwujy minaranyň kislota ýygnaýjysyna akyp geçýär we bu minarany suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy gerek bolan çäklere çenli peselýär. Ikinji ýuwujy minaranyň siklinden artykmaç kislota birinji ýuwujy minaranyň önündäki ýygnaýja akyp geçýär; netijede minarany (1) suwarýan kislotanyň talap edilýän konsentrasiýasy saklanýar. Beýan edilen shema ýakylýan gaz bilen gelýän kükürt angidridini doly baglanyşdyrmaga mümkinçilik berýär.

Birinji ýuwujy minaranyň siklinde ýygnanýan artykmaç kislota taýýar önümiň ammaryna berilýär, ol ýerde onuň konsentrasiýasyny 75-den 92,5 %-e çenli ýokarlandyrýarlar, onuň üçin oleum ýa-da monogidrat goşulýar we sarp ediljilere başnýa ýa-da kontakt tehniki kislota görnüşinde ugradýarlar.

Ol elektrofiltrlerden çykýan kondensat (2) we (4) minaralary suwarýan kislota goşulýar. Birinji ýuwujy minara berilýän gaz HF görnüşinde flör saklaýar. Soňky futerowkanyň we goýumyň SiO_2 -i bilen täsirleşip, SiF_4 emele getirýär, ol kükürt kislotasynnda ereýär we sistemadan birinji ýuwujy minaradaky kislota bilen çykarylýar.

5.5.2. Arassalaýjy bölümiň apparaturasy

1-nji ýuwujy minara. 1-nji ýuwujy minarada gaz 350-400-den 80-90 °C-a çenli sowaýar, bu ýerde şeýle hem gury elektrofiltrlerden soň galan tozanyň esasy bölegi we bölekleyin myşýak, selen we beýleki goşundylar, şeýle hem kükürt kislotasynyň ümüriniň bölekleyin ýuwdulmagy bolup geçýär.

1-nji ýuwujy minara (23-nji surat) içi boş polat silindr (1) (korpus) bolup, onuň iç ýüzi galyňlygy 3-5 mm bolan gurşun listi ýa-da başga kislota durnukly material (poliizobutilen, faolit we b.) bilen örtülen. Minara şeýle hem kislota çydamly keramika bilen futerowka edilen; futerowkanyň galyňlygy aşaky böleginde 250÷300 mm, ýokarky böleginde 150÷200 mm. Minara kislota çydamly material bilen örtülen fundamentde goýlan. Gazyň minaranyň kesimi boýunça gyradeň ýaýramagy, şeýle hem gazyň suwarýan kislota bilen gowy galtaşmagy üçin minaranyň aşaky böleginde merkezi deşikli çykalga goýlan.

Suwarýan kislota nasos bilen halkaly kollektora berilýär, ol minaranyň gapagynda ýerleşdirilen. Kollektorlardan kislota pürkujilere (2) berilýär (pürkujileriň sany 12-den 20-ä çenli). Käbir ýagdaýlarda pürkujiler minaranyň gapdal üstünde goýulýar.

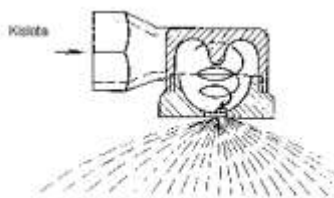
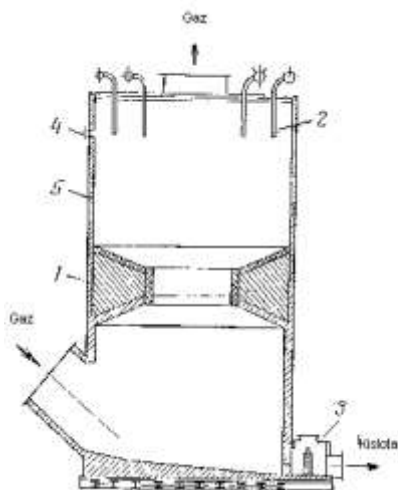
Kislota pürküji gurluş 24-nji suratda görkezilen. Kislota basyş astynda galtaşýan nokat boýunça pürküjiniň başjagazyna berilýär we uly tizlik bilen merkezi deşikden ownuk damjalar görnüşinde çykýarlar, olar konus görnüşli akymy emele getirýärler. Damjalaryň umumy üsti örän uly, şonuň üçin ol gazyň suwuklyk bilen ýakyn kontaktyny üpjün edýär.

Minaranyň aşaky böleginiň darajyk deşiginde gazyň tizliginiň uly bolmagynyň hasabyna başnýanyň gapdal üstünden akyp geçýän we pürkülende syçramalar görnüşinde gaçýan kükürt kislotasyny asylan ýagdaýda saklaýarlar.

Kislotanyň ownuk syçramalary gaz akymy bilen ikinji ýuwujy başnýa çykýarlar. Bu bolsa arassalaýjy bölümiň işleýşini çylşyrymlaşdyrýar, aýratyn-da, eger birinji ýuwujy minara ýokary konsentrasiýaly kükürt kislotasy bilen suwarylýan bolsa. Şonuň üçin içi boş minaralarda gazyň tizligini kislotany pürkmek üçin goýlan gurluşda onuň pürküşine laýyklykda saýlap alýarlar.

Birinji ýuwujy minarada kükürt kislotasynyň buglarynyň kondensasiýasy bilen bir wagtda goşundylaryň käbir mukdary hem tutulýar. Myşýagyň we seleniň käbir mukdary şlam bilen bilelikde kislota sowadyjylarda, olaryň bir bölegi bolsa kislota ereýärler.

Käbir daşary ýurt zawodlarynda birinji ýuwujy minaranyň ýerine Wenturi ýuwujysy goýulýar. Ýuwuja berilýän suwuklyk uly umumy üstli örän ownujak damjalara bölünýärler, ol gazyň suwuklyk bilen gowy galtaşmagyny üpjün edýär.



23-nji surat. Içi boş ýuwujy minara.

1- korpus; 2 - kislota pürküji; 3 - kislota
çykarmak üçin ştuserli korobka; 4 - görmek
üçin aýna; 5 - futerowka.

24-nji surat. Merkezden

daşlaşdyrýan pürküji

2-nji ýuwujy minara.

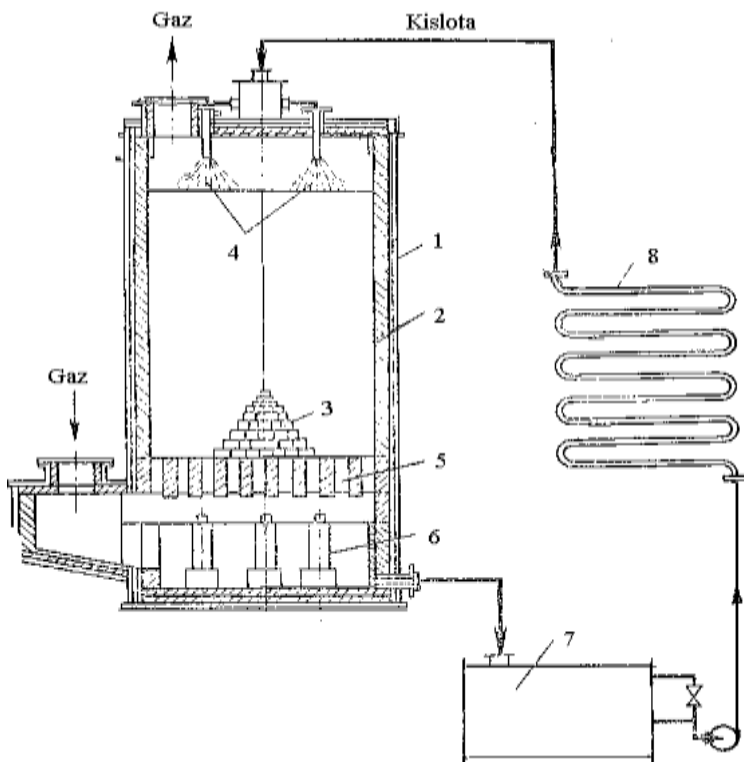
2-nji ýuwujy minarada gaz $80 \div 90$ —dan $30 \div 40$ °C-a çenli sowayar, 1-nji ýuwujy minarada ýuwdulmadyk ümür görnüşli kükürt kislotasynyň absorbsiýasy, şeýle hem myşýagyň, seleniň we 1-nji ýuwujy minaradan soň gazda galan beýleki goşundylaryň tutulmagy bolup eçýär.

Gurluşy boýunça 2-nji ýuwujy minara 1-nji ýuwujy minaradan tapawutlanýar. Minaranyň (1) polat korpusy 1-nji ýuwujy başnyadaky ýaly gurşun ýa-da başga kislotaçydamly keramika (2) bilen örtülen (25-nji surat). Gazyň suwarýan kislota bilen gowy galtaşmagy üçin minara farfor ýa-da keramiki halkalardan ýasalan goýumlar (3) bilen doldurylan. Minaranyň aşaky böleginde ölçegi $120 \div 150$ mm, ýokarky böleginde - $50 \div 80$ mm bolan halkalar goýlan.

Hemişe halkalar şahmat görnüşinde dogry hatar edilip goýulýar. Ýokarsynda beýikligi 1m töweregi bolan goýum bilen doldurylmadyk giňişlik goýulýar. Ol ýerde kislota

pürkujiler (4) goýulýar. Goýum sütünlerde (6) goýlan keramika ýa-da andezit plitalardan ýasalan gözenege (5) direlýär. Gaz minara aşaky girelge üçin korobka arkaly berilýär, suwarýan kislota ters akymlaýyn ýokaryk galýar, goýumy ýuwyar we minaranyň gapagynda goýlan ştuser arkaly çykýar.

Kislotaň minaranyň kesimi boýunça gyrađeň ýaýramagy üçin 1-nji ýuwujy minaradaky ýaly pürkujiler goýulýar. Kislota minaranyň aşaky bölegine ýygnanýar we ondan aşaky ştuser arkaly çykýar.



25-nji surat. Ikinji ýuwujy minara.

1 - korpus; 2 - futerowka; 3 - goýum (halka); 4 - pürkujiler; 5 - gözenek; 6 - sütünler; 7 - kislota ýygnaýjy; 8 - suwarýan sowadyjy.

2-nji ýuwujy minara tozandan doly diýen ýaly arassalanan gaz berilýär, şonuň üçin hem bu minaradan hemişe dury ýa-da çala reňklenen suwaryjy kislota çykýar. 2-nji ýuwujy minaranyň goýumy we kislota pürkujileri köp ýyllaryň dowamynda işledilende hapalananok we ýuwmaklyk talap edilenok.

Ýuwujy minaralaryň ölçegi giň çäklerde bolup, ol kükürt kislotasy zawodynyň öndürjiligine bagly bolup durýar.

Öl elektrofılrler. Gazy öl elektrik usul bilen arassalaýjy desga öl elektrofılrleriň iki basgançagyndan ybarat. Elektrik usul bilen arassalamagyň her basgançagy birnäçe parallel işledilýän elektrofılrlerden ýa-da birnäçe bölümlı elektrofılrlerden ybarat. Şonuň ýaly gurluş wagtal-wagtal öl elektrofılrleri ýuwmak üçin saklamaga mümkinçilik berýär.

Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasy zawodlarynyň köpüsi turbaly ýa-da öýjüklı elektrofılrler bilen enjamlaşdyrylan, olar dürli sanly turbalardan we öýjüklerden ybarat.

Elektrofılrden çykýan kislota turbalar boýunça umumy ýygnaýja berilýär, ol iç ýüzünden kislotaçydamly material bilen futerowka edilen. Öl elektrofılrlerde çöküp galýan şlam 50%-e golaý selen saklaýar we ol gowy ýygnalýar.

Öl elektrofılrleriň işleýşiniň esasy görkezijileriniň biri hem gazda kükürt kislotasynyň ümüriniň ýoklugydyr.

Häzirki wagtda ümür ölçejiler işlenilip düzülen we önümçiligie ornaşdyrylýar, olar gazyň durulygy boýunça ondaky ümüriň mukdaryny awtomatiki kesgitleýärler we registrirleýärler, kesgitlenen çäklerden ýokary geçse signal berýärler.

Çyglandyryjy minara. Minarada gazyň çyglanmagy bilen bir hatarda onuň 3-5 °C-a çenli sowamagy hem bolup geçýär. Çyglandyryjy minara ölçegi we gurluşy boýunça takmynan 2-nji ýuwujy minara meňzeş. Ol futerowka edilmedik, keramiki halkalar bilen doldurylan we 5 %-li kükürt

kislotasy bilen suwarylýar. Çyglandyryjy minaradan soň gaz elektrofiltirleriň 2-nji basgançagyny geçýär, ol ýerde ol suwuk we gaty bölejiklerden saplanýar.

Guradyjy minara we damja tutujy.

Guradyjy minaranyň biri gazyň doly ýeterlik guradylmagyny üpjün edýär. Emma, käbir zawodlarda iki sany yzygider ýerleşdirilen guradyjy minaralar goýlan, olar minaralaryň biriniň işleýşinde näsazlyk ýüze çykan ýagdaýynda gazyň talap edilýän guradylma derejesini üpjün edýärler. Ondan başga-da, iki sany yzygider guradyjy minalalar goýlanda ümüriň emele gelmeginiň mümkinçiligi azalýar.

Guradyjy başnýa polatdan ýasalan we kislota çydamly keranika bilen üpjün edilen. Minaranyň ýokarky böleginde gazyň girmegi we kislotanyň çykmagy üçin ştuser, minaranyň goýumyny ýüklemek we çykarmak üçin laz (7) we iki sany görmek üçin aýna (4) (olaryň biri minarany görmek üçin, beýlekisi ýagtylandyrmak üçin) goýlan. Sferiki (ýa-da tekiz) gapagynda (5) kislota pürkujiler (6) ýerleşdirilen. Minara keramiki ýa-da farfor halkaly goýumlar bilen doldurylan; aşaky böleginde birnäçe hatar has iri halkalar (ölçeği 150x150; 120x120, 100x100 we 80x80 mm) ýerleşdirilen, halkalaryň esasy massasynyň ölçeği bolsa 50x50 mm.

Minaranyň goýumy boýunça kislotanyň gyrađen ýaýramagy üçin dürli gurluşly ýaýradyjy plitalar ulanylýar. Guradyjy başnýalarda suwarylma dykzyzlygy başnýanyň 1 m² kesimine 18÷25 m²/sag.

Kislotanyň syçramalaryny tutmak üçin guradyjy minarlarda käwagt damja tutujylar goýulýar, ol edil goýumly minara ýaly, emma, ol kükürt kislotasy bilen suwarylanok. Emma, şoňa meňzeş damjatutujylaryň effektiwligi pes we gymmat bolýar, şonuň üçin, kondensasion ümüriň syçramalaryny we iri damjalaryny bölüp aýyrmaklyk üçin täze desgalarda süzüji gatlagyň kömegi bilen gazanylýar. Ol guradyjy başnýanyň ýokarky böleginde we monogidrat absorberlerde ýerleşdirilýär.

Guradyjy bölümiň esasy görkezijileriniň biri gazy guratmagyň derejesidir. Ol gazyň göwrüm birliginde çyglylygyň mukdary bilen kesgitlenýär. Gazyň gowy guradylmagy üçin guradyjy minarany kislotanyň talap edilýän konsentrasiýasy bilen üznüksiz we gyrađeň suwarmak zerur bolup durýar. Suwarýan kislotanyň konsentrasiýasyny ýokarlandyrmak üçin guradyjy kislotanyň ýygnaýjysyna monogidrat girizilýär, bir wagtda artykmaç guradyjy kislota hem üznüksiz absorbsion bölüme berilýär.

Monogidratyň goşulmagynyň we guradyjy kislotanyň geçirilmeginiň üznüksiz amala aşyrylmagy örän wajypdyr, sebäbi, şonda guratma prosesi has durnukly bolýar we aňsat sazlanýlar.

6. KÜKÜRT DIOKSIDINIŇ (SO₂) OKISLENİŞI

6.1. Kükürt dioksidini katalitiki okislemegiň fiziki-himiki esaslary

Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginde SO₂-niň $\text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{SO}_3$ reaksiýa boýunça okislenmegi katalizatoryň gatnaşmagynda geçýär. Onuň üçin gazy stasionar ýa-da psewdosuwuklanan ýagdaýda bolan katalizator bilen galtaşdyrýarlar. SO₂-niň okislenme mukdaryny gazdaky kükürt dioksidiniň umumy mukdarynyň paýy ýa-da prosentde (SO₂-niň gazdaky başlangyç mukdary bilen) häsiýetlendirýärler. Şol ululyga öwrülme ýa-da okislenme derejesi diýilýär.

SO₂-niň okislenişini dürli metallar, olaryň splawlary we oksidleri, käbir duzlar, silikatlar we beýleki köp maddalar tizleşdirip bilýär. Her katalizator onuň özüne mahsus bolan öwrülme derejäni üpjün edýär.

Zawod şertlerinde öwrülme derejesi ýokary bolan katalizatorlary ulanmak amatly, olaryň kömegi bilen has ýokary öwrülme derejesi gazanylýar, sebäbi SO₂-niň okislenmän galan mukdary absorbsion bölümde tutulmaýar we zyňylýan gazlar bilen atmosfera çykýar.

Köp wagtlap platina has gowy katalizator diýlip hasaplanypdyr. Platinanyň aktiwligi ýokary, emma ol örän gymmat. Ondan başga-da, gazyň düzüminde az mukdarda myşýak, selen, hlor we beýleki goşundylar bolan ýagdaýynda onuň işjeňliligi pese düşýär. Gazy arassalamagyň zerurlygy ýüze çykýanlygy üçin platina katalizatoryň ulanylmagy apparaturanyň çylşyrymlaşmagyna getirýär.

Wanadiý katalizatory (wanadiý pentoksidiniň V₂O₅ esasynda) has arzan katalizator we onuň goşundylara duýgurlygy pes.

Senagatda ulanylýan wanadiý katalizatory (wanadiý kontakt massasy) – katalitik aktiw maddanyň V₂O₅, käbir

maddalaryň (aktiwligini ýokarlandyran) – aktiwatorlaryň we göterijileriň garyndysydyr.

SO₂-niň okislenme reaksiýasy ekzotermiki; onuň ýylylyk effekti beýleki islendik himiki reaksiýanyňky ýaly temperatura bagly:

t, °C	reaksiýalaryň ýylylygy kJ/mol	t, °C	reaksiýalaryň ýylylygy kJ/mol
25	96,05	500	94,23
100	96,20	550	93,18
200	96,09	600	93,13
300	96,79	650	92,80
400	96,04	700	92,27
450	94,88	700	92,27

400÷700 °C aralykda okislenme reaksiýasynyň ýylylyk effekti (kJ/mol) tehniki hasaplamalar üçin ýeterlik takyklykda şu formula boýunça hasaplanylýp bilner:

$Q = 10\,142 - 9,26T$ ýa-da $24\,205 - 2,21T$ (kkal/mol)

Bu ýerde T – temperatura, K.

SO₂-niň SO₃-e okislenme reaksiýasy öwrülişikli. Bu reaksiýanyň deňagramlylyk konstantasy ($\text{Pa}^{-0,5}$) deňleme bilen aňladylýar:

$$K_p = \frac{P_{SO_3}}{P_{SO_2} \cdot P_{O_2}^{0,5}}$$

6.2. Deňagramly öwrülme derejesi

SO₂-niň deňagramly öwrülme derejesi katalizatoryň aktiwligine, gazyň düzümine, gazyň katalizator bilen täsirleşmesiniň dowamlylygyna, basyşa we b. bagly.

Deňagramly öwrülme derejesi temperatura bagly we deňleme arkaly aňladylýar:

$$X_p = \frac{P_{SO_3}}{P_{SO_2} + P_{SO_3}}$$

Gazyň temperaturasynyň peseldilmegi we basyşyň artdyrylmagy bilen X_p – köpeliýär. Bu okislenme reaksiýasynyň ýylylygyň bölünip çykmagy we molekulalaryň umumy sanynyň azalmagy bilen düşündirilýär.

Temperaturanyň peselmegi we gazyň basyşynyň ýokarlanmagy bilen X_p artýar. Munuň özi okislenme reaksiýasynyň ýylylygyň bölünip çykmagy bilen we molekulalaryň umumy sanynyň azalmagy bilen şertlenendir.

Aşakda 7% SO_2 , 11 % O_2 we 82 % N_2 saklaýan gaz üçin dürli temperaturalarda we 0,1 MPa basyşda X_p -niň bahalary getirilen.

T, °C	$X_p \cdot 100$	T, °C	$X_p \cdot 100$	T, °C	$X_p \cdot 100$
390	99,4	470	96,2	550	85,5
400	99,2	480	95,4	560	82,5
410	99,0	490	94,5	570	80,1
420	98,7	500	93,4	580	77,6
430	98,4	510	92,1	590	75,0
440	98,0	520	90,7	650	58,5
450	97,5	530	89,2	700	43,6
460	96,9	540	87,4	1000	5,0

Deňagramly öwrülme derejesi gazdaky SO_2 bilen O_2 -yň gatnaşygyna bagly, ol öz gezeginde ýakylýan çig malyň görnüşine we berilýän howanyň mukadyna baglydyr. Howa näçe köp berlen bolsa, gaz garyndysynda SO_2 şonça-da az we O_2 köp saklanýar, netijede bolsa deňagramly öwrülme derejesi hem şonça ýokary bolýar.

6.3. SO₂-niň SO₃-e okislenme reaksiýasynyň tizligi

Önümçilik şertlerinde SO₂-i okislemegiň ähmiýeti uly. Bu reaksiýanyň tizligine katalizatoryň massa birliğinde wagtda birliğinde okislenýän kükürt dioksidiniň mukdary bagly bolup durýaň, şeýlelikde bolsa katalizatoryň harçlanyşy, kontakt apparatyň ölçegi we prosesiň beýleki tehniki-ykdysady görkezijileri baglydyr. Proses geçirilende şol bir wagtda SO₂ – niň okislenme tizliginiň, şeýle hem öwürülme derejesiniň mümkin boldugyça ýokary bolmagyna ymtylýarlar.

SO₂-ni okislemekligiň tizligi tizlik kontantasy bilen häsiýetlendirilýär (s⁻¹·Pa⁻¹):

$$r = r_0 \cdot e^{-E/RT}$$

bu ýerde r_0 – koeffisiýent; E – aktiwasiýa energiýasy, J/mol (kal/mol); R – uniwersal gaz hemişeligi, 8,326 J/(mol·°C); T – absolyut temperatura, K.

Gazlaryň kinetiki teoriýasyndan belli bolşy ýaly, çaknyşanda reaksiýa geçiş ýaly ýeterlik energiýasy bolan molekulalaryň paýy 1-nji golaýlaşmada $e^{-E/RT}$ deň. Şeýlelikde reaksiýanyň tizliginiň deňlemesinde bu çlen SO₃-ň emele gelmegine getirýän effektiv çaknyşmalaryň paýyny görkezýär. Aňlatmada dereje görkezijisi ortriatel, onda, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen reaksiýanyň tizligi artýar, aktiwasiýa energiýasynyň E ýokarlanmagy bilen bolsa peselýär.

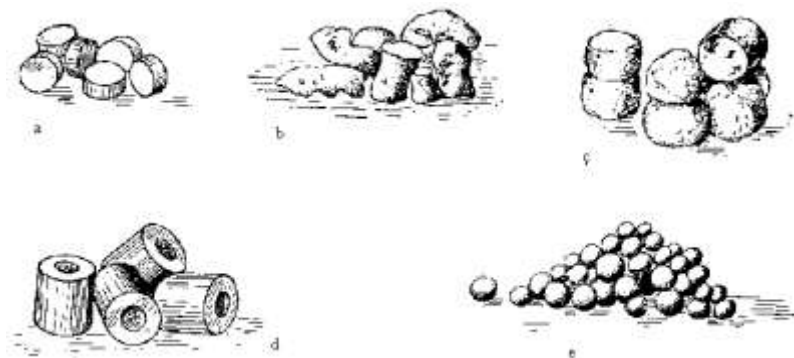
SO₂ –niň SO₃-e okislenme reaksiýasynyň aktiwasiýa energiýasy E örän ýokary, şonuň üçin katalizatorsyz gomogen okislemegiň reaksiýasy ýokary temperaturada hem geçmeýär. Gaty katalizatorlaryň gatnaşmagynda aktiwasiýa energiýasy peselýär, şeýlelikde bolsa, geterogen katalitiki reaksiýanyň tizligi artýar. Şeýlelikde, katalizatoryň roly aktiwasiýa energiýasyny E peseltmekden ybarat.

6.4. Wanadiý kontakt massasy

Wanadiý kontakt massasy öýjükli esas bolup, ol wanadiý pentoksidini saklaýan işjeň kompleks birleşme bilen örtülen.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde esasan kontakt massanyň (katalizator) şu görnüşleri ulanylýar: massa BAW, onuň düzümine girýän elementleriň baş harplary bilen atlandyrylan (bariý, alýuminiý, wanadiý) we kontakt massa SWD (sulfo-wanadat-diatomly), şeýle hem kontakt massalar IK (Kataliz Instituty) we SWS (sulfowanadat silikatda).

BAW kontakt massany taýýarlamak üçin reaktorda kaliý wanadatyň (KVO_3) suwuk kaliýli aýna K_2SiO_3 bilen erginini garýarlar we üznüksiz garylmagynda $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli gyzdýrýarlar. Garynda $AlCl_3$ -ň ergini we $BaCl_2$ -ň suwly ergininiň garyndysy goşulandan soň kontakt massa çökýär. Ony filtrpressde süzýärler, soňra gidrawlik presiň kömegi bilen gysýarlar. Alnan ergini (çyglylygy $40\div 45\%$) galyplaýarlar, kontakt massa granula, tabletka ýa-da halka görnüşe getirilýär (26-njy surat). Soňra kontakt massany 30 sagatdan az bolmadyk wagtda 60 –dan $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli guradýarlar.



26-njy surat. Kontakt massanyň formasy

a – tabletka; b, ç – granulirlenen massa; g – halka görnüşli kontakt massa;
e – gaýnaýan gatlak üçin kontakt massa.

BAW kontakt massasy doýgunlaşmazdan öň – ak ýa-da çala gülgüne reňkde bolýar, onuň takmynan düzümi: $V_2O_5 \cdot 12SiO_2 \cdot 0,5Al_2O_3 \cdot 2K_2O$ BaO·2KCl. Massanyň çyglylygy 15 % töweregi. BAW granulirlenen katalizatoryň dökülen ýagdaýyndaky dykzlygy 480 g/l. Gury massada 8,0 mass. % wanadiý saklanýar (V_2O_5 hasabynda). Wanadiý massasy kükürt dioksidi bilen işlenilenden soň sary reňkde bolýar we onuň dökülme dykzlygy 650 g/l-e çenli artýar.

BAW-ň katalitiki işjeňligi standart şertlerde 86 %-den az däl. BAW katalizatoryň granulararynyň ortaça diametri 5 mm, uzynlygy 7÷15 mm.

Halka görnüşinde taýýarlanan BAW kontakt massa 2 ölçegde bolýar: $d_d = 10$ mm; $d_{iç} = 3$ mm; $h = 10$ mm we $d_d = 8$ mm, $d_{iç} = 2,5$ mm, $h = 8$ mm (d_d , $d_{iç}$ – halkalaryň daşky we içki diametrleri, h – halkalaryň beýikligi).

Katalizatory kükürt dioksidi bilen doýdunlaşdyrmagy hemişe senagat kontakt apparatlarda geçirýärler. Prosesiň başynda kontakt massany gyzgyn howa bilen guratýarlar, onuň temperaturasyny 420 °C-a çenli artdyrýarlar. Soňra howa SO_2 goşulýar. Geçýän reaksiýalaryň ekzotermikiligi üçin, kontakt massa gyzýar; temperatura doýgunlaşanda 550 °C–dan ýokary geçmeli däl.

Massa doýgunlaşanda bölünip çykýan hlor çykýan gazlar bilen atmosfera zyňylýar, ol bolsa kontakt aparat täze massa bilen işe girizilende käbir kynçylyklary döredýär.

SWD kontakt massany gury usul boýunça taýýarlaýarlar. Onuň düzümine kaliý pirosulfaty $K_2S_2O_7$ girýär, ol aktiw kompleksi $V_2O_5 \cdot K_2S_2O_7$ emele getirýär, şonuň netijesinde bu massa üçin kükürt dioksidi bilen doýgunlaşdyrmak talap edilmeyär.

SWD katalizatoryň granularary açyk-goňur reňkde, dökülme dykzlygy 570-600 g/l. Katalitiki aktiwligi standart şertlerde 86 %-den az däl, termiki gaýtadan işlenilenden soň – 83%. Kontakt massanyň granulararynyň ortaça diametri 4 ÷ 4,5 mm, uzynlygy 10 ÷ 15 mm; halkalar 2 görnüşde

çykarylýar: $d_d = 8$ we 12 mm; $d_{iç} = 3$ we 6 mm; $h = 8$ we 12 mm. SWD katalizatoryň takmynan düzümi: $V_2O_5 \cdot 2,7K_2O \cdot 0,6SO_3 \cdot 0,75CaO \cdot 25SiO_2$.

620 °C-dan ýokary temperaturada wanadiý kontakt massanyň (IK-2-den başgasy) işjeňligi çalt peselýär. Ýokary temperaturada kontakt massanyň işjeňliginiň peselmegi katalizatoryň gurluşynyň üýtgemegi, onuň öýjükliginiň peselmegi we işjeň üstüniň ölçeginiň azalmagy netijesinde bolup geçýär.

Kontakt massanyň hiliniň esasy görkezijileriniň biri hem ýanma temperaturasydyr, şol temperaturada proses praktiki maksatlar üçin ýeterlik tizlikde geçýär. Wanadiý kontakt massanyň ýanma temperaturasy diňe bir katalizatoryň hiline däl-de, gaz garyndysynyň düzümine hem bagly bolýar. Ol gazyň düzüminde kislorodyň mukdarynyň azalmagy bilen ýokarlanýar. Mysal üçin, kolçedanyň ýakylmagy bilen alnan gaz ($SO_2 - 7\%$, $O_2 - 11\%$) gaýtadan işlenilende täze BAW kontakt massanyň ýanma temperaturasy 420 °C, IK-4 – 380 °C. Eger gaz 7% SO_2 we diňe $6,7\%$ O_2 saklaýan bolsa, onda wanadiý kontakt massanyň ýanma temperaturasy 437 °C-a çenli artýar. Wagtyň geçmegi bilen senagat apparatlarynda kontakt massanyň ýanma temperaturasy ýokarlanýar, şonuň üçin hem katalizatoryň birinji gatlagyna girýän gazyň temperaturasyny artdyryýarlar.

Senagat apparatlarynda wanadiý kontakt massasynyň aktiwligi wagtyň geçmegi bilen peselýär, şonuň üçin katalizatory tutuşlygyna ýa-da bölekleyin her 3-5 ýyldan çalşyp durýarlar. Gaz gowy arassalanylanda we durnukly temperatura režiminde kontakt massanyň aktiwligi uzak wagtyň dowamynda saklanýar (10 ýyla çenli).

Kontakt massany çykarmazdan öň ony 20-30 sagadyň dowamynda gyzgyn 400 °C-dan ýokary temperaturada gury howa bilen üfleýärler, kontakt apparatlary sowadýarlar we katalizatory çykarýarlar. Aktiwligini (işjeňligini) ýitiren

wanadiý kontakt massasyny zawod-taýýarlaýja wanadiýni bölüp almak we täze katalizatory almak üçin ugradýarlar.

Kontakt massa bölekleyin çalşylanda ondan ownuklary çykarylýar, galan massany bolsa kontakt apparata katalizatoryň ortaça gatlagy hökmünde ýükleyärler. Birinji we soňky gatlaklar täze kontakt massadan ybarat, şonuň üçin hem katalizatoryň birinji gatlagynyň ýanma temperaturasy peselýär; soňky gatlakda täze massanyň bolmagy umumy öwrülme derejesiniň ýokary bolmagyny üpjün edýär.

Kontakt massa gazyň geçmegine uly gidrawiki garşylygy görezýär (kontakt bölüminiň umumy gidrawliki garşylygynyň ýarsyna golaý). Wagtyň geçmegi bilen massanyň hapalanmagy we gyzyp tutluşmagy netijesinde garşylygy artýar. Kontakt massanyň gidrawliki garşylygyny peseltmek üçin ony iri granulalar, tabletkalar, halkalar we b. görnüşinde taýýarlaýarlar.

Mälim bolşy ýaly, kontakt massanyň katalitiki aktiwligi katalizatory zäherleýän kontakt zäherleriň köp bolmadyk mukdarda bolmagy bilen peselýär. Wanadýi kontakt massasy platina garanynda kontakt zäherleriň täsirine çydamly, onda-da ýakylýan gazda käbir zäherleriň bolmagy (mysal üçin, myşýak we ftor) onuň aktiwligini peseldýär.

Myşýagyň wanadiý katalizatoryna täsiri platina katalizatorynyňkydan ep-esli gowşakdyr (takmynan 5000 esse). Myşýak kontakt massa bilen siňdirilýär we ol onda As_2O_5 we KAsO_3 bolýar.

550 °C-dan pes temperaturada kontakt massanyň aktiwligi onuň myşýak bilen doýunlaşmagy netijesinde belli bir derejä çenli peselýär we myşýagyň ondan soňky berilmegi bilen üýtgänok. 550 °C-dan ýokary temperaturada kontakt massadan bölünip çykýan uçujy birleşme $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{As}_2\text{O}_5$ emele gelýär. Şonuň üçin ýakylýan gazda myşýak bar bolsa, wanadiý kontakt massanyň birinji gatlagyndan çykýar we soňky gatlaklarda çöküp, kesmek emele getirýär.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde fluor gazda SiF_4 we HF görnüşinde bolup biler, bu birleşmeleriň ikisi hem wanadiý kontakt massasyna zyýanly täsir edýär; olaryň täsir ediş mehanizmi dürlüdür.

Gazda fluorly birleşmeleriň köp bolmadyk mukdarda saklanmagynda we katalizatorlarda O_2 -yň okislenme prosesiniň ýokary temperaturasynda ($400\text{ }^\circ\text{C}$ -dan ýokary) SiF_4 gazda bar bolan suw buglary bilen ($0,01\%$, ýa-a 80 mg/m^3) täsirleşýär. Şonda bölünip çykýan SiO_2 wanadiý kontakt massasynyň üstüni ýapýar we onuň katalitiki aktiwligi peselýär, şonuň üçin hem gazda SiF_4 -ň mukdary kontakt apparatdan öň 3 mg/m^3 -dan ýokary geçmeli däl.

Gazda HF -ň konsentrasiýasy ýokary we suw bugy az bolsa reaksiýanyň deňagramlylygy çep tarapa süýşýär, fluorly wodorod SiO_2 bilen täsirleşýär we onuň göwrümi azalýar. Kolçedanda işlenilende kontakt bölümden öň gazda tutuş fluor SiF_4 görnüşinde bolýar.

Suw bugy kükürt kislotasynyň kondensasiýasyndan ýokary temperaturada wanadiý kontakt massasynyň aktiwligine täsir etmeýär. Bu köp barlaglaryň üsti bilen öl kataliz usulyň uzak wagtlap geçirilen synaglarynyň üsti bilen subut edilýär. Pes temperaturalarda SO_3 bilen suw buglarynyň täsirleşmegi netijesinde emele gelýän kükürt kislotasy kontakt massasynda kondensirlenip, ony dargadýar.

Gazda CO , CO_2 , H_2S , CS_2 , NH_3 , azot oksidleriniň, S-ň buglarynyň köp bolmadyk mukdarda bolmagy kontaktlaşmanyň normal temperatura režiminde wanadiý kontakt massasynyň aktiwligini güýçli peseldenok.

Pes temperaturalarda (mysal üçin, apparat saklananda we işe goýberilende) bu maddalaryň käbirleri wanadiý pentooksidini dikeldip bilýär, şonuň bilen birlikde hem kontakt massanyň düzümini üýtgedýär.

Kontakt bölümiň apparaturasynyň içki diwarlarynyň korroziýasy netijesinde gaz kükürt kislotasynyň syçramalaryndan we ümürden ýeterlik doly arassalanylmasa,

demir sulfaty emele gelip bilýär. Ol aýratyn zyýanly täsir edýär, sebäbi wanadiý kontakt massasynyň ýokarky gatlaklarynda gaty kesmekler emele gelýär.

7. WANADIÝ KATALIZATORYNDA SO₂-NI SO₃-E OKISLEMEGIN ŞERTLERI

Wanadiý katalizatorynda (hereketsiz gatlakda) SO₂-niň SO₃-e okislenme prosesiniň tizligi deňleme arkaly aňladylýar:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{kP}{a} \cdot \frac{1-x}{1-0,2x} \left[\beta - \frac{x^2}{PK_p^2 (1-x)^2} \right]$$

$$\beta = \frac{b-(ax/2)}{1-(ax/2)}$$

bu ýerde x – öwrülme derejesi, birlik paýy; τ – kontaktlaşma wagty, s; κ – reaksiýanyň tizlik konstantasy, $e^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$; a – SO₂-niň başlangyç konsentrasiýasy, birlik paýy; x_p – deňagramly öwrülme derejesi; b – kislorodyň başlangyç konsentrasiýasy; T – temperatura, K; P – umumy basyş, Pa; K_p – deňagramlylyk konstantasy, $\text{Pa}^{-0,5}$.

Deňlemeden görnüşi ýaly, okislenme prosesiniň tizligi reaksiýanyň tizliginiň konstantasyna κ bagly, ol temperaturanyň ýokarlanmagy bilen güýçli artýar. Temperatura 400-den 500 °C-a çenli artdyrylsa, reaksiýanyň tizliginiň konstantasy 30 esseden hem ýokary galýar. Emma, şonda deňagramlylyk konstantasy peselýär, ýagny deňlemäniň şu çleni:

$$\left[\frac{x^2}{PK_p^2 (1-x)^2} \right]$$

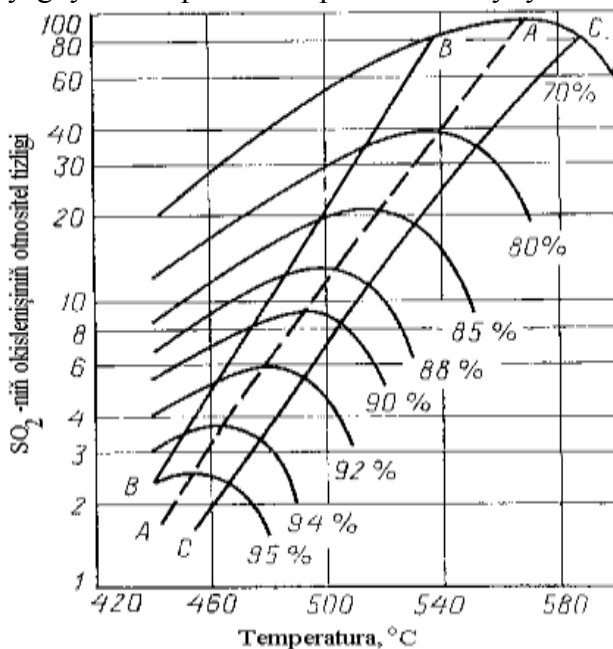
peselýär.

Şeýlelikde, SO₂-niň SO₃-e okislenme prosesiniň tizligi iki sany ululyga bagly bolup durýar, olaryň biri temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artýar, beýlekisi bolsa peselýär. Şonuň üçin, prosesin temperatura baglylygynyň egri çyzygynyň

ekstremumy bolmaly, soňky analizler bu ýerde maksimumlaryň bardygyny görkezýär.

SO₂-niň SO₃-e okislenme reaksiýasynyň tizligi alynýan öwrülme derejesi az boldugyça, şonça-da ýokarydyr. Şonuň üçin, her bir öwrülme derejesi üçin reaksiýanyň tizliginiň temperatura baglylygy maksimumy bolan egri çyzyk bilen aňladylýar.

Şonuň ýaly egri çyzyklaryň 7 % SO₂ we 11 % O₂ saklaýan gaz garyndysy üçin 27-nji suratda görkezilen. Olardan görnüşine görä, her öwrülme dereje üçin reaksiýanyň tizligi belli bir temperaturada maksimuma ýetýär, özi hem bu temperatura öwrülme derejesi pes boldugyça, şonça-da ýokarydyr. Bu temperaturalarda reaksiýanyň maksimal tizligi gazanylýar, olar prosesi geçirmek üçin has amatly bolup durýar, ýagny olara optimal temperaturalar diýilýär.

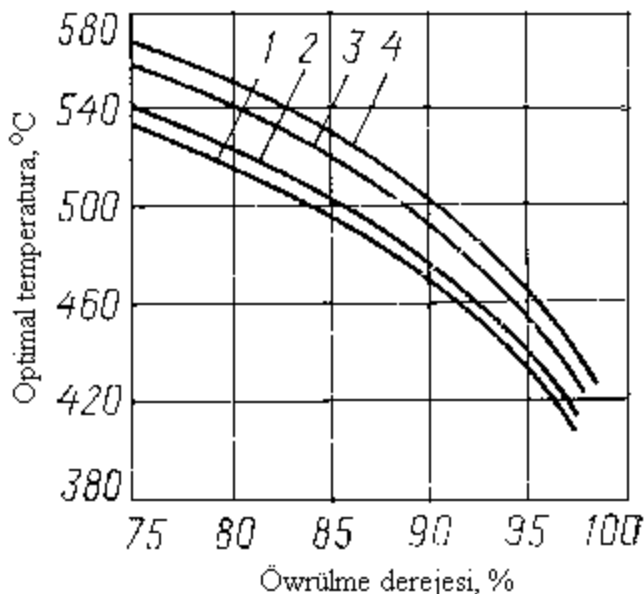


27-nji surat. Dürli öwrülme derejelerde $x = 0,7 \div 0,95$ SO₂-niň okislenme tizliginiň temperatura baglylygy

27-nji suratda dürli öwrülme derejeler üçin reaksiýanyň maksimal tizligine gabat gelýän nokatlar, ýagny optimal temperaturalar AA göni çyzyk bilen birleşdirilen. Şolar arkaly ähli beýleki aralykdaky öwrülme derejeler üçin prosesi geçirmegiň optimal şertlerini kesgitlemek bolýar.

BB we CC liniýalar temperaturalaryň rugsat edilýän üýtgeме oblastyny çäklendirýär, şol çäklerde reaksiýanyň tizligi optimal temperaturada 0,9–dan az bolanok.

SO₂-niň SO₃-e okislenme reaksiýasynyň tizligi diňe bir temperatura we öwrülme derejesine däl-de, gaz garyndysynyň düzümine hem bagly bolýar. Şonuň üçin, gazyň dürli düzüminde berlen öwrülme derejeler üçin optimal temperaturalar deň däldir.



28-nji surat. Gazyň dürli düzüminde optimal temperaturanyň SO₂-niň öwrülme derejesine baglylygy

1 – 7 % SO₂ we 6,2 % O₂; 2 – 9 % SO₂ we 8,1 % O₂; 3 – 7 % SO₂ we 11 % O₂; 4 – 7 % O₂ we 14 % O₂

28-nji suratda dürli düzümlü gaz garyndylary üçin SO₂-niň okislenme prosesiniň optimal temperaturasynyň öwrülme

derejesine baglylygy görkezilýär. 1-nji egri çyzyk kömür kolçedany ýakylanda alynýan gazyňky, ol 10 % uglerod saklaýar, 2 we 3 egri çyzyklar – flotasion kolçedanyňky; 4 – kükürt ýakylanda alynýan gazyňky.

Alnan maglumatlardan aşakdakylar gelip çykýar: kükürtli anhidridiň okislenme prosesi üçin hemişelik optimal temperatura bolup bilmeýär we öwrülme derejesi ýokarlandygyça prosesiň temeparturasyny peseltmeli bolýar (AA liniýa bilen laýyklykda) (29-njy surat). Emma, SO_2 -niň okislenme prosesini has ýokary temperaturada hem başlamak amatly däl, sebäbi, gazyň ýokary temperatura çenli gyzdyrylmagy energiýanyň harçlanmagy bilen baglanyşykly. Şonuň üçin praktikada prosesi şunuň ýaly alyp barýarlar: ýakylýan gazy ýanma temperaturasyndan biraz ýokary temperatura çenli gyzdyrýarlar (katalizatoryň aktiwligine baglylykda $400\div 440\text{ }^{\circ}\text{C}$) we kontakt aparatyň katalizatorynyň birinji gatlagyna berýärler.

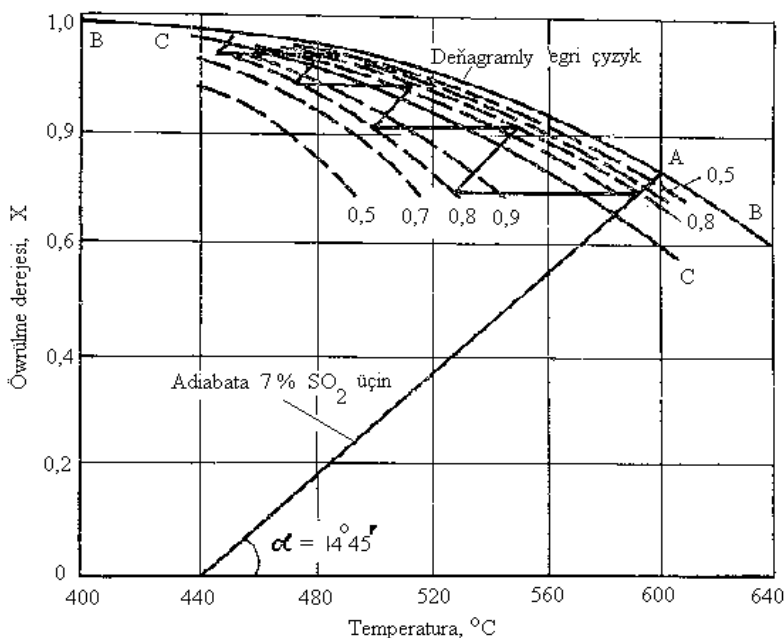
SO_2 -niň okislenme reaksiýasynyň dowamynda köp ýylylyk bölünip çykýar, netijede gazyň temperaturasy tiz ýokarlanýar. Prosesi adiabatik (ýylylygy çykarmazdan) şertlerde temperatura tä optimal sana (ululyga) ýetýänçä dowam edýärler. Soňra adiabatik prosesi geçirmeklik maksada laýyk däl, şonuň üçin, ýylylygy çykaryp başlaýarlar, ony ondan soňky okislenme prosesiniň temperaturasy optimala golaý bolýança çykarýarlar.

29-njy suratda t-x diagramma şekillendirilen, ol 7 % SO_2 we 11 % O_2 saklaýan gazda aralyklaýyn ýylylyk çalşyjyly baş basgançakly proses üçin temperaturanyň öwrülme derejesine baglylygyny häsiýetlendirýär. AA göni çyzyk – adiabata – ol kontakt massanyň birinji gatlagynda reaksiýanyň ýylylygynyň hasabyna temperaturanyň ýokarlanmagy bolup geçende adiabatiki prosese laýyk gelýär; BB – deňagramly öwrülme derejesiniň egri çyzygy; ÇÇ – optimal temperaturalaryň egri çyzygy. Kese çyzyklar maksimal bahasyndan (temperaturanyň optimal bahasyndan üýtgemegi

netijesinde) 0,9; 0,8; 0,7 we 0,5-e deň bolan reaksiýanyň tizliklerine laýyk gelýär.

Bu suratdan görnüşi ýaly, temperatura takmynan 600 °C-a çenli adiabatik ýokarlandyrylanda öwrülme derejesi 0,73-e ýetýär. Tejribede prosesiniň has ýokary tizligini gazanmak üçin birinji gatlakda öwrülme derejani takmynan 0,7-ä ýetirýärler, emma bu şertlerde hem prosesiniň şertleri optimal sandan gyşarýar.

Kontakt massanyň ikinji gatlagyna berilmezden öň, gaz ýylylyk çalşygyda sowadylýar, $t - x$ diagrammada abssissa okuna parallel göni uçastoga laýyk gelýär. Gaz 525 °C-a çenli ýokarlanýar, öwrülme derejesi bolsa 0,81-e deň bolýar. Kontakt massanyň ikinji gatlagyndan soň gaz ýene-de sowadylýar (diagrammada täze göni çyzyk) we üçünji gatлага barýar we ş.m.



29-njy surat. Aralyklaýyn ýylylyk çalşygyly baş gatlakly kontaklaşma üçin $t - x$ diagramma

Şeýlelikde, her gatlakda adiabatik proses geçýär, umuman alnanda (kontakt apparatda tutuşlygyna) bolsa, ol politropiki prosesdir.

Adiabatiki posesde SO_2 -niň SO_3 -e okislenme prosesinde temperaturanyň ýokarlanmagy deňleme arkaly aňladylyar:

$$T_k = T_n + \lambda \Delta x$$

Bu ýerde T_k , T_n – başlangyç we ahyrky temperaturalar, K; Δx – öwrülme derejesiniň ýokarlanmagy, paýda; λ - $\Delta x = 1$ bolanda adiabatik şertlerde gazyň temepraturasynyň ýokarlanma koeffisiýenti:

$$\lambda = \frac{q_p^a}{\rho c}$$

bu ýerde q_p – reaksiýanyň ýylylyk effekti, kJ/m^3 ; a – gazdaky SO_2 -niň başlangyç konsentrasiýasy, paýda; c – gaz garyndysynyň ýylylyk sygymy, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ – gaz garyndysynyň dyklyzlygy, kg/m^3 .

Bu deňleme (1) kontakt massadan çykýan gazyň temperaturasyny hasaplamaga mümkinçilik berýär. Onuň üçin kontakt massa girýän temperaturasy we öwrülme derejesi belli bolmaly ýa-da öwrülme derejesi belli bolsa, temperaturany kesgitlemeli.

7.1. Kontakt massanyň mukdaryny kesgitlemek

Berlen öwrülme derejesini gazanmak üçin SO_2 saklaýan gaz garyndysy wanadiý kontakt massasy bilen belli bir wagtyň dowamynda galtaşmaly (täsirleşmeli). Praktiki hasaplamlary ýönekeýleşdirmek üçin hakyky däl-de fiksiw (ýalan) galtaşma wagtyny kesgitlemeli; ony hasaplamak üçin ulanylýan

formula katalizatoryň arasyndaky erkin göwrümiň bahasyny däl-de, kontakt massanyň tutuş göwrümini girizmeli.

Fiktiw galtaşma wagtyň (τ) (sekuntda), normal şertlerde gazyň göwrümine bolan gatnaşygy (wagt birliginde katalizatoryň belli göwrümi arkaly geçýän gazyň göwrümi we kontakt massanyň göwrümi bilen şu gatnaşykda baglanyşykly):

$$\tau = v/V$$

bu ýerde v – kontakt massanyň göwrümi, m^3 ; V – gazyň göwrümi (normal şertlere getirilen), m^3/s .

Bu ýerden $v = V \cdot \tau$. Prosesiň hakyky režiminiň berlen režimden mümkin bolan gyşarmalaryny (gazda SO_2 -niň temperaturasy we konsentrasiýasy boýunça) we wagtyň geçmegi bilen kontakt massanyň akiwliginiň peselmegini hasaba alyp, praktiki hasaplamalara massanyň artykmaçlyk koeffisiýentini (c) girizýärler. Talap edilýän kontakt massanyň göwrümi şuna deň:

$$v = c \cdot V \cdot \tau$$

Gazyň göwrümini berýärler (ol kontakt bölümiň öndürijiligi bilen kesgitlenilýär, massanyň artykmaçlyk koeffisiýenti bolsa praktiki maglumatlaryň esasynda kabul edilýär. Kontakt massanyň her gatlagy üçin ol dürli-dürlidir.

Birinji gatlakda atykmaçlyk koeffisiýentiniň ýokary bolmagy bu gatlagyň zäherli goşundylaryň täsirine has ýokary derejede täsir edýänligi bilen düşündirilýär. Şonda massanyň atiwliginiň peselmegi ýanma temperaturasynyň ýokarlanmagyna getirýär, şeýlelikde, gazy has ýokary temperatura çenli gyzdymaklygyň zerurlygyny ýüze çykarýar. Ondan başga-da, birinji gatlakda kontakt massanyň mukdarynyň artmagy bilen reaktoryň artykmaç çydamlylygy

artýar, sebäbi parametrik duýgurlyk ilki bilen $proizwodna\ dT_1/dT_0$ bagly.

Birinji gatlagyň artykmaç çydamlylygy uly bolsa, normal režimden gyşaran ýagdaýynda onuň „öçme“ howplulygy peselýär (şýlelikde bolsa, tutuş reaktorda katalitiki prosesini saklanmagy), ol bolsa hemişe önümçilik şertlerinde bolup biler.

Şýlelikde, kontakt massanyň göwrümini hasaplamak üçin, fiktiw galtaşma wagtyny kesgitleýäris (kontaktlaşma wagty). Ol prosesiniň tizligine ters proporsional. Onuň üçin deňlemiden peýdalanmaak bolar, ol şu aşakdaky görnüşde bolup biler:

$$d\tau = \frac{\alpha(1-0,2x)dx}{KP(1-x) \left[\beta - \frac{x^2}{K_P(1-x)^2} \right]} = zdx$$

Praktiki şertlerde temperatura we öwürme derejesi prosesiniň geçişinde üýtgeýär, şýlelikde, deňagramly öwürme derejesi we reaksiýanyň tizlik konstantasy hem üýtgeýär. Şonuň üçin, τ -ny kesgtemeklik çylşyrymly hasaplamalar bilen baglanyşykly we hemişe EHM-de (elektron hasaplaýyş maşynlarda) ýerine ýetirilýär. Takmynan magumatlary almak üçin grafiki ýa-da stadiýalaýyn usul boýunça hasalamalary ýerine ýetiýärler.

7.2. Wanadiý katalizatoryna SO₂-ni okislemeginiň optimal şertleri

Kükürt kislotasy sistemasynyň kontakt bölüminiň işleýişiniň esasy görkezijileri – öwürme derejesidir. Bu görkeziji önümçiligiň ýokary tehnologiýalylygyny häsiýetlendirýär, sebäbi tehnologik prosesiniň aýratynlyklary doly hasaba alnanda, şeýle hem kükürt kislotasy zawodynyň

ähli bölümleri gowy işlände uzak wagtyň dowamynda ýokary önümçilik derejeleri üpjün edilýär.

Öwrülme derejesiniň artmagy bilen zyňyndy gazlarda SO₂-niň mukdary azalýar. X = 0,995-e deň bolanda zyňyndy gazlarda 0,04 % töweregi SO₂ saklanýar. Köp ýagdaýlarda şonuň ýaly gazlary arassalamazdan atmosfera zyňmak bolýar.

Ýokary öwrülme derejesini almak üçin prosesi mümkin boldugyça pes temperaturada tamamlamaly. Emma, deňagramly derejä golaý şertlerde reaksiýanyň tizlik konstantasy ep-esli peselýär, ýagny, prosesiň tizligi haýallaýar. Şonuň üçin, öwrülme derejesi ýokary boldugyça, şonça-da kontaktlaşma wagty dowamly bolmaly, şeýlelikde katalizatoryň göwrümi uly bolmaly.

Wanadiý kontakt massasynyň bahasynyň gymmatlygy üçin zawod şertlerinde has ýokary ykdysady taýdan maksadalaýyk öwrülme derejesini saýlap almaly.

Bir gezek kontaktirlemede ýokary öwrülme dereje alnanok, ony üpjün etmek üçin ikileýin kontaktirleme usulyny ulanmak ýa-da çykýan gazlaryň sanitar arassalygyny geçmek maksadalaýyk bolýar.

Kontakt aparatyň wajyp görkezijileriniň biri hem – gidrawliki garşylygydyr, onuň köp bölegi kontakt massa bilen döredilýär.

Täze kontakt massanyň gidrawliki garşylygy takmynan formula arkaly hasaplanyp bilner:

$$\Delta p = 9,8 A \cdot w^{1,74} \cdot \rho \cdot h; \text{ (Pa); } A \cdot w^{1,74} \cdot \rho \cdot h \text{ (mm sim. süt.)}$$

Bu ýerde: w - massadaky gazyň fiktiw tizligi (kontakt massanyň göwrümini hasaba almazdan), m/s; ρ – gazyň dykzlygy, kg/m³; h – granulirlenen kontakt massanyň gatlagynyň beýikligi, m; A – kontakt massanyň formasyna we ölçegine bagly bolan koeffisiýent.

Käbir maglumatlara görä, täze ýüklenilen granulirlenen wanadiý kontakt massasy üçin gazyň tizligi $w = 0,4 - 1,0$ m/s bolanda A koeffisiýent şuňa deň:

Däneleriň ölçegi, mm	4	5	6	8	10
A	725	500	420	340	300

Halka görnüşli wanadiý kontakt massasy üçin ölçegi (10x10x30) takmynan hasaplamalarda $A=160$ diýip kabul etmek bolýar.

Wanadiý kontakt massanyň gidrawliki garşylygy iş prosesinde artýar, onuň artmagy gaz gowy arassalanmasa we ýygy-ýygdydan proses saklanylsa, şonça-da ýokary bolýar.

Aýratyn hem kontakt massanyň gidrawliki garşylygy 1-nji (başdaky tekjelerde) tekjede ýokary bolýar, şonuň üçin, her 2-3 ýyldan tekjelerdäki massalar çalşylýar (tüzelenýär), ýa-da elekden geçirilip, täzedan ýüklenilýär.

Kontakt massanyň göwrümi gazda SO_2 -niň konsentrasiýasynyň köpelmegi bilen ýokarlanýar, degişlilikde kontakt massanyň gatlagynyň beýikligi hem (kontakt aparatyň birmeňzeş diametrinde) ulalýar. Emma, berlen öndürjilikde SO_2 -niň mukdarynyň köpelmegi bilen gazyň umumy göwrümi azalýar we şonla laýyklykda onuň kontakt massadaky tizligi peselýär, ol bolsa gidrawliki garşylygyň tiz peselmegine getirýär.

Gazyň tizligi we kontakt massanyň gatlagynyň beýikligi kontakt aparatyň öndürjiligi bilen baglanysykly:

$$w = c_1 (P/a) \quad \text{we} \quad h = c_2 (P\tau/a)$$

bu ýerde; a – SO_2 -niň gazdaky konsentrasiýasy;
 c_1, c_2 – hemişelikler; τ – kontaklaşma wagty.s.

Eger deňlemeleri (1) formula goýsak we Δp we p ululyklary hemişelik diýip kabul etsek, onda alarys:

$$P = c_3 (a/\tau^{0,26})$$

c_3 – hemişelik.

Bu deňlemäniň çözüdi kontakt apparatyň optimal şertlerini kesgitlemäge mümünçilik berýär. Şonda käbir hemişelik (berlen) gidrawliki garşylykda maksimal öndürijilik gazanylýar.

Zawodyň işleýşiniň tehniki-ykdysady görkezijileri ilki bilen çykarylýan önümiň hili we özüne düşýän gymmaty bilen kesgitlenilýär. Şonuň üçin, kontakt apparatyň işleýşiniň optimal şertleri saýlanyp alnanda diňe bir öwrülme derejäni däl-de, beýleki faktorlary hem hasaba almaly.

Eger-de, gazdaky SO_2 -niň mukdary köpeldilse we ýokary öwrülme derejäni saklamak üçin kontakt massanyň mukdary köpeldilse, kükürt kislotasy sistemasynyň öndürijiligi has-da ýokarlandyrylyp bilner. Emma, şonda kontakt massanyň mukdary katalizatoryň goşmaça gidrawliki garşylygyny aýyrmak üçin onuň bahasy we elektrik energiýanyň harçlanyşy tutuş zawodyň işleýşiniň tehniki-ykdysady görkezijilerine täsir eder ýaly derejede artar. Şonuň üçin bu usul bilen öndürijiligi artdyrmagyň mümünçiligi çäklidir.

Konsentrlenen SO_2 -de işlenilende we ýeterlik ýokary bolmadyk öwrülme derejesinde çykýan gazlary SO_2 -den arassalamak göz önünde tutulmalydyr. Bu hem arassalaýjy desgalaryň gurluşygyna goşmaça kapital harajatlaryň bolmagy bilen baglanyşyklydyr. Ondan başga-da, SO_2 -niň konsentrasiýasynyň artmagy bilen kontakt massanyň gyzyşy ýokarlanýar, şonuň üçin bu gatlak termiki durnukly kontakt massadan ybarat bolmaly. Şeýlelikde, gazdaky SO_2 -niň konsentrasiýasy kükürt kislotasy zawodynyň işleýşiniň tehniki-ykdysady görkezijilerine täsir edýän birnäçe faktorlary hasaba almak bilen kesgitlenilýär.

Wagtyň geçmegi bilen kontakt massanyň işjeňligi we öwrülme derejesi (X) peselýär. Beýleki deň şertlerde berlen (X) ululygy saklamak üçin prosesiniň temperaturasyny ýokarlandyrmaly we kontakt apparatyň täze optimal režimini hasaplamaly. Käbir zawodlarda ol awtomatiki amala aşyrylýar. Onuň üçin ýörite sazlaýjy abzallar ulanylýar, onuň esasynda degişli programma goýulýar. Wanadiý kontakt massanyň aktiwliginiň peselmegi bilen aktiwasiýa energiýasy E hemişelik bolup galýar, k_0 bolsa üýtgeýär diýip kabul edilýär. Şeýlelikde, aktiwliginiň peselmeginden öň we soň birmeňzeş öwrülme dereje şu deňlik berjaý edilende gazanylýar:

$$\tau_1 \cdot k_1 = \tau_2 \cdot k_2$$

bu ýerde τ_1 , τ_2 – berlen öwrülme dereje üçin kontakt massanyň aktiwliginiň peselmeginden öň we soň kontaktlaşmanyň fiktiv wagty, s; k_1 , k_2 – wanadiý kontakt massasynda aktiwliginiň peselmeginden öň we soň reaksiýalaryň tizliginiň konstantasy.

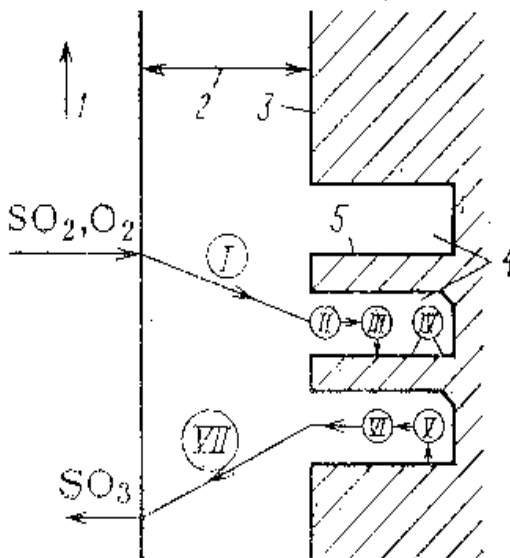
7.3. Katalizatoryň içki üstüniň ulanylyş derejesi

Öýjükli katalizatorlarda SO_2 -ni okislemeginiň prosesi 7 sany zygyder stadiýalardan ybarat (30-njy surat). Durnuklaşan proses üçin ähli stadiýalaryň tizligi birmeňzeş, emma her stadiýanyň mümkinçiligi birmeňzeş ulanylanok, hemişe olaryň biri limitirleýji (kesgitleýji) bolup durýar – şol hem katalitiki prosesiniň tizligini kesgitleýär.

Prosesiniň tizligi I we VII stadiýalar bilen kesgitlenýän oblasta – içki diffuziýa oblasty diýilýär; prosesiniň tizligi IV stadiýa bilen kesgitlenýän bolsa – kinetiki oblast diýilýär.

Eger, proses daşky diffuziýa oblastynda geçýän bolsa, gazyň turbulent akymynda SO_2 bilen O_2 -ň konsentراسiýalary olaryň katalizatoryň üstündäki konsentراسiýasyndan ep-esli ýokarydyr. Eger, proses içki diffuziýa oblastynda geçýän bolsa, onda reagentleriň konsentراسiýalary katalizatoryň

granulalarynyň daşky üstünde we göwrümünde ululygy boýunça deňiräkdir, öýjükleriň içindäki konsentrasiýa gradiýenti – ep-esli tapawutlanýandyr (uludyr).



30-njy surat. SO_2 -niň katalizatorda okislenme prosesiniň shemasy:

- 1 – gazyň turbulent akymy; 2 – gazyň araçäk gatlagy; 3 – katalizatoryň daşky üsti; 4 – katalizatoryň öýjükleri; 5 – öýjükleriň içki üsti; I – gazyň araçäk gatlagy arkaly SO_2 we O_2 -ň diffuziýasy; II – katalizatoryň gatlaklarynda SO_2 bilen O_2 -ň diffuziýasy; III – katalizatoryň üsti bilen SO_2 we O_2 -ň absorbsiýasy; IV – katalizatoryň üstünde himiki reaksiýa; V – SO_3 -ň desorbsiýasy; VI – katalizatoryň öýjüklerinde SO_2 -niň diffuziýasy; VII – gazyň araçäk gatlagyndan SO_3 -ň diffuziýasy.

Eger, proses kinetiki oblastda geçýän bolsa, onda diffuzion prosesler prosesiniň tizligine uly täsir ýetirenok. Şonuň ýaly şertler prosesiniň daşky stadiýalarynda syn edilýär.

Eger, proses içki diffuzion oblastda geçýän bolsa, onda katalizatoryň içki üsti doly ulanylanok we katalizatoryň granulalary iri we temperatura ýokary boldugyça, ol az derejede ulanylýar.

Katalizatoryň granulalarynyň içki üstüniň ulanylyş derejesini ýokarlandyrmak üçin wanadiý kontakt massasynyň halkalarynyň diwarlaryny mümkin boldugyça kiçi etmäge çalyşýarlar, şeýle hem, katalizatoryň bölejikleriniň ölçegine onuň berkliginiň, göwürüm massasynyň we kontakt massasynyň hem-de kontakt apparatyň gidrawliki garşylygynyň baglydygy hasaba alynýar.

Halka görnüşli kontakt massanyň içki öýjüklerine SO_2 bilen O_2 -ň geçmegi bir wagtda halkanyň içki we daşky üstlerinde bolup geçýär. Halkalaryň diwarlarynyň ölçegi granulalaryň ölçeginden kiçi, şonuň üçin halka görnüşli kontakt massasnyň içki üsti granulalaryň üstüne garanyňda doly ulanylýar. Onuň içki diffuziýa oblastynda geçýän prosesin başdaky stadiýalary üçin praktiki ähmiýeti uludyr.

Gazda SO_2 -niň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy bilen massaberme prosesin täsiri uludyr.

Katalizatoryň däneleriniň optimal ölçegi diňe bir aktiwligine däl-de, katalizatoryň bahasyna we ulanylyş möhletine, şeýle hem katalizatoryň gatlagynda gazyn göni tizligine, energiýanyň bahasyna (katalizatoryň gidrawliki garşylygynyň önüni almak üçin harçlanýan) bagly.

7.4. Ikileýin kontaktirleme

Kolçedan we kükürt howada ýakylanda alnan gaz üçin bir gezek kontaktirleme usulynda 98 %-den ýokary öwrülme derejesini almak maksada laýyk däl, sebäbi bu katalizatoryň mukdarynyň birden köpelmegi bilen baglanyşykly.

SO_2 -niň ahyrky öwrülme derejesini artdyrmak üçin ikileýin kontaktirleme usuly ulanylýar. Bu usulda SO_2 —ni okislemekligi (kontaklaşdyrmagy) iki stadiýada geçirýärler. Birinji stadiýada 90 % öwrülme derejesi üpjün edilýär, soňra reaksiyon zonadan SO_3 -i bölüp alýarlar, ondan soň kontaklaşdyrmanyň ikinji stadiýasy geçirilýär, bu stadiýada

öwrülme derejesi galan SO₂-den 95 % gazanylýar; umumy öwrülme derejesi 99,5 %-e ýetýär.

SO₂-niň okislenme reaksiýasy öwrülişikli, şonuň üçin prosesiniň tizligi şunuň ýaly aňladylýar:

$$W = r_1 - r_2 = k_1 C_{\text{SO}_2}^l C_{\text{O}_2}^m - k_2 C_{\text{SO}_3}^n$$

bu ýerde r_1 , r_2 – göni we ters reaksiýalaryň tizligi; k_1 , k_2 – göni we ters reaksiýalaryň tizliginiň konstantasy; C_{SO_2} , C_{O_2} , C_{SO_3} – SO₂, O₂, SO₃-ň gazdaky konsentrasiýalary; l , m , n – reaksiýalaryň tertibi.

Deňlemeden görnüşi ýaly, eger SO₃ kontaktlaşmanyň birinji stadiýasyndan soň reaksiýa garyndydan çykarylýan bolsa, onda ikinji stadiýanyň önünden $C_{\text{SO}_3}=0$ we $r_2=0$ deň bolar. Şeýlelikde, prosesiniň tizligi artar. Bu ýagdaýda ahyrky öwrülme derejesi deňleme bilen aňladylýar:

$$X_n = X_1 = (1 - X_1) X_2$$

Bu ýerde X_n , X_1 , X_2 -- birinji, ikinji we ahyrky stadiýalarda öwrülme derejeleri.

$$\text{Şeýlelikde,} \quad X_n = 0,9 + (1-0,9) 0,95 = 0,995.$$

7.5. Kükürt kislotasyny öndürýän häzirki zaman zawodlaryň kontakt bölümi

Häzirki zaman desgalarda SO₂-ni okisleme prosesi ikileýin kontaktirleme prosesi görnüşinde geçirilýär. Öň işe girizilen kükürt kislotasy desgalary bir gezek kontaktirleme esasynda işleýär. Şonuň üçin hem ilki başda şonuň ýaly önümçiligiň kontakt bölümüne seredilip geçiler, soňra bolsa ikileýin kontaktirleme prosesiniň gurluş aýratynlygyna serediler.

SO₂-niň okislenme prosesini amala aşyrmak üçin dürli görnüşli kontakt apparatlar ulanylýar. Soňky ýyllarda aralyklaýyn sowadyjyly (ýylylyk çalşyjyly) kontakt apparatlar giňden ýaýran, olar ýönekeý we reaksiýanyň ýylylygyny ulanmak mümkinçiligi, az gidrawliki garşylygy we beýleki aýratynlyklary bilen tapawutlanýarlar (31-nji surat).

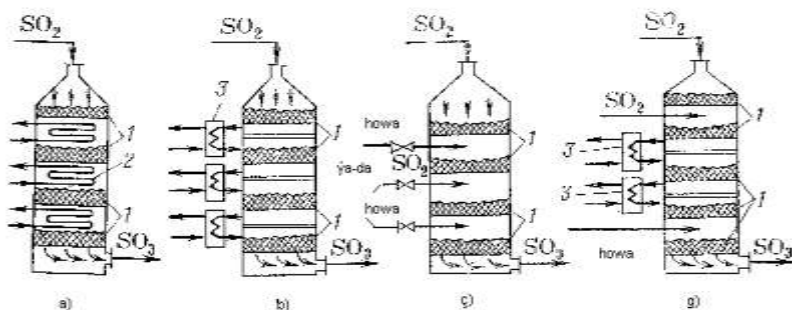
Bu reaktorlarda ýylylyk çalşyjylar kontakt apparatyň içinde ýa-da onuň daşynda ýerleşdirilen. Soňky apparatlara daşyna çykarylan ýylylyk çalşyjyly kontakt apparatlar diýilýär. Aralyklaýyn ýylylyk çalşyjyly kontakt apparatlarda SO₂-ni okisleme prosesiniň geçişi şundan ybarat: ýanma temperaturasyndan (400÷420°C) biraz ýokary temperatura çenli gyzdrylan gaz kontakt massanyň 1-nji gatlagyndan geçirilýär, bu ýerde SO₂-niň umumy mukdaryndan 60÷80 %-i okislenýär. Reaksiýanyň bölünip çykýan ýylylygynyň hasabyna gazyň temperaturasy 550÷580 °C-a çenli ýokarlanýar. Şonuň ýaly şertlerde reaksiýanyň tizligi örän ýokary bolýar we onuň geçmegi üçin kontakt massanyň köp bolmadyk mukdary talap edilýär. Emma, kükürt dioksidiň ondan soňky okislenmegi saklanýar, sebäbi öwrülme derejesi deňagramlylyga ýetýär.

1-nji gatлага girýän gazyň temperaturasynyň peselmegi bilen bu gatlagda ýetilýän öwrülme derejesi ýokarlanýar. 1-nji gatлага ýanma temperaturasy pes bolan kontakt massa (IK-4, SWS we b.) ýüklenilýär.

Katalizatoryň 1-nji gatlagyndan soň gaz ýylylyk çalşyjyda ýa-da sowuk gazyň goşulmagy bilen 460-480 °C-a çenli sowadylýar. 2 we 3 ýylylyk çalşyjylarda sowadyjy agent hökmünde kontaktirmek üçin berilýän sowuk kükürtli gaz, suw ýa-da bug ulanylýar.

Sowadylandan soň gaz kontakt massanyň 2-nji gatlagyna barýar, bu ýerde SO₂-niň soňky okislenmesi bolup geçýär. Şonda, temperatura ýene-de ýokarlanýar we gazy täzeden sowatmaly bolýar we ş.m. Prosesiň temperatura şertleri

optimal şertlere golaý boldugyça, kontakt massanyň gatlagy şonça-da uly bolýar.



31-nji surat. Gatlaklaryň arasynda gazy aralyklaýyn sowadyjysy ýerleşdirilen kontakt apparatlar:

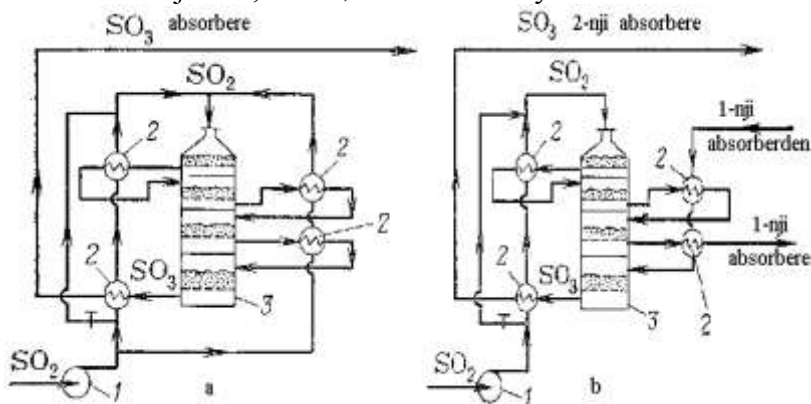
- a, b - ýylylyk çalşyjylarda; w – sowuk gazy goşmak bilen;
g – kombinirlenen sowadyjyly; 1 – kontakt massanyň gatlaklary;
2 – içki ýylylyk çalşyjy; 3 – daşyna çykarylan ýylylyk çalşyjy.

Senagatda kontakt massanyň gatlagy 3-den 5-e çenli bolan aralyklaýyn ýylylyk çalşyjyly apparatlar ulanylýar. Stadiýalaryň sany ondan köp bolanda öwrülme derejesi ujypsyzdyr, emma kontakt apparatyň montaży we oňa hyzmat edilişi çylşyrymlaşýar.

32-nji suratda (a) bir gezek kontaktlaşdyrylýan kontakt bölümiň shemasy görkezilen, onda aralyklaýyn ýylylyk çalşyjyly 4 gatlakly apparat göz önünde tutulan.

Ikileýin kontaktlaşdyrmada kontakt apparatlaryň gurluşy bir gezek kontaktlaşdyrma usulyndaka meňzeş; kontakt massanyň gatlaklarynyň umumy sany 4-den 5-e çenli bolýar. Emma gaz garyndysynyň hereketiniň shemasy üýtgeýär – ol katalizator gatlaklarynyň sanyna, goýulýan ýylylyk çalşyjylaryň sanyna, gazdaky SO_2 -niň konsentrasiýasyna we ş.m. bagly. Mysal üçin, 32-nji surat (b) - görkezilen shemada kükürt dioksidi wentilýatoryň (1) kömegi bilen 2 sany ýylylyk çalşyjylar arkaly kontakt apparata (3) ugradylýar. Katalizatoryň 4-nji we 1-nji gatlaklaryndan çykýan gaz garyndysynyň (SO_3) ýylylygynyň hasabyna gaz gyzyýar, gaz garyndysy bolsa

katalizatorndan soň sowadylýar. Kontakt apparatdan soň gaz garyndysy absorbere ugradylyýar, ondan soň bolsa atmosfera zyňylýar. Katalizatoryň 3-nji gatlagynda kükürt dioksidinuň öwrülme derejesi $X=0,9$ -a deň; bu gatlakdan soň gaz garyndysy aralyklaýyn absorbere (5) ugradylyýar, bu ýerde ol sowadylýar we ondan SO_3 -i bölüp alýarlar. Absorberden soň gaz garyndysy täzeden 2 sany ýylylyk çalşyjyda gyzdyrylýar we katalizatoryň 4-nji gatlagyndan geçýär, ondan soň umumy öwrülme derejesi $0,995 \div 0,997$ -ä deň bolýar.



32-nji surat. Kükürt kislotasy önümçiliginiň kontakt bölüminiň shemasy:

a - bir gezek kontaktdaşdyrylýan; b - iki gezek kontaktdaşdyrylýan;

1 - gysyp ýygnaýjy; 2 - ýylylyk çalşyjy;

3 - kontakt apparat.

Kontakt bölümdäki hereketiň shemasy saýlanyp alnanda zerur bolan temperatura režimi we ýylylyk çalşmanyň has amatly şertleri üpjün edilmeli. Kontakt bölümiň shemasynda gaz akymalaryň hereketi ýylylyk çalşma nukdaý nazaryndan has amatly bolup durýar, sebäbi aralyklaýyn absorberden çykýan gaz garyndysy katalizatoryň 4-nji gatlagyna berilmezden oň ýylylyk çalşyjyda gyzdyrylýar, oňa katalizatoryň 2-nji gatlagyndan soň has ýokary temperaturaly (3-nji gatlakdakydan) SO_2 berilýär.

Absorbsiýa režiminiň bozulmalary bolan ýagdaýynda gazy ümürden arassalamaklyk doly geçenok, ol bolsa ýylylyk

çalşyjylaryň turbalarynyň dargamagyna getirýär, şonuň üçin absorberden soň käwagt goşmaça uly bolmadyk we aňsat çalşyp bolýan ýylylyk çalşyjy goýýarlar.

Ikili kontaktlaşmada gaz garyndysy başdaky temperaturadan 50 °C töweregi (guradyjy başnyadan soň we absorbsiýanyň 1-nji stadiýasynda SO₃ bölünip çykandan soň) gyzdrylýar, onda prosesin awtotermikligini üpjün etmek üçin SO₂-niň gazdaky konsentrasiýasy kontaktlaşmanyň 1-nji stadiýasyna girýän ýerinde 9-10 %-e çäklerinde bolýar.

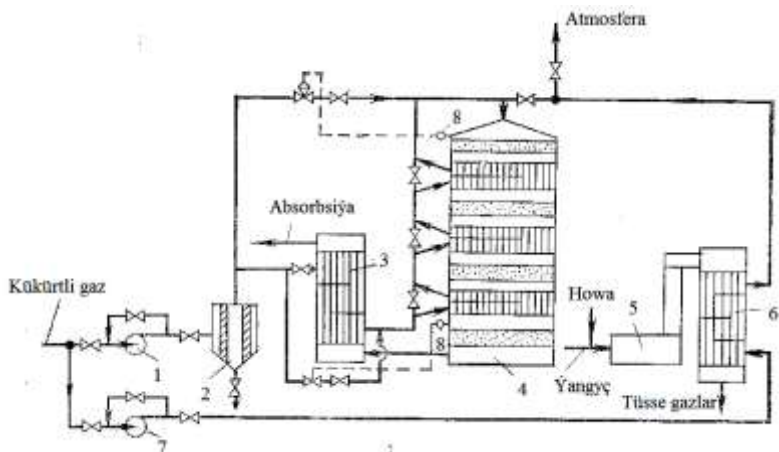
7.5.1. Kontakt apparatlar we kontakt uzeli

Kontakt uzeliň apparaturasy we tehnologi shemasy ulanylýan çig malyň görnüşine, reaksiýanyň ýylylygyny çykarmagyň usulyna, desganyň öndürjiligine we beýleki faktorlara bagly.

Arassa kükürtden ýa-da kükürtwodoroddan gysga shema boýunça kükürt kislotasy alnanda ýuwujy bölümi ulanylanok, gaz peçden we bugly gazan-utilizatordan soň göniden-göni kontakt apparata berilýär. Kolçedan ýakylanda alnan gazlardan, çykýan metallurgiýa gazlaryndan we beýl. önümçiliklerden kükürt kislotasy alnanda gaz akymy kontakt apparata berilmezden öň 40÷70-den 420÷440 °C-a çenli ýylylyk çalşyjylarda täsirleşen gazlaryň ýylylygynyň hasabyna gyzdrylýar.

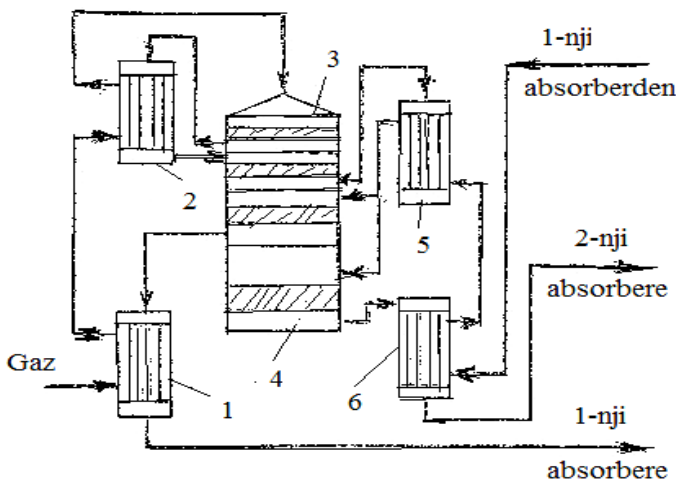
Dürli çig mallardan alynýan kükürt kislotasynyň öňki gurlan önümçiliklerinde, şeýle hem täze 3÷6 % SO₂ saklaýan zyňlýan gazlardan kükürt kislotasynyň önümçiliklerinde bir gezek kontaktlaşdyrylýan kontakt uzeliň shemasy ulanylýar.

33-nji suratda bir gezek kontaktlaşdyrylýan kontakt uzeliň shemasynda aralyklaýyn ýylylyk çalşyjyly 4-gatlakly aparat ulanylýar.



33-nji surat. Bir gezek kontaklaşdyrmaly kontakt uzeliň shemasy:
 1 – turbagaz üfleýji; 2 – damja tutujy; 3 – daşky ýylylyk çalşyjy;
 4 – kontakt apparat; 5 – ýakylýan ýer; 6 – goýberilýän gyzdýryjynyň
 ýylylyk çalşyjsy; 7 – gazüfleýji; 8 – termojübüt.

Arassalanylan we guradylan kükürtli gaz gaz üfleýji bilen daşky aralyklaýyn ýylylyk çalşyjylarda gyzdýrylýar we kontakt apparatyň 1-nji gatlagyna berilýär. Ýylylyk çalşyjylarda aralyklaýyn sowadylýan katalizatoryň ähli gatlaklaryndan geçenden soň, täsirleşen gaz kontakt apparatdan çykýar we emele gelen SO_3 -ň absorbsiýasyna barýar. Optimal temperatura režimi ýylylyk çalşyjylarda goýlan bekleýjili baýpas gaz geçişleriň kömegi bilen saklanylýar. Olar yzygider gazyň geçişi boýunça, käwagt – iki sany soňky gatlakda parallel goýulýar. Kontakt apparatlarda maksimal öwrülme derejesi 98,0÷98,5 %-e ýetýär.



34-nji surat. IK-li kontakt uzeliň shemasy:

1, 2, 5, 6 – ýylylyk çalşyjylar; 3 – 1-nji kontaktlaşma başgançagy;
4 – 2-nji kontaktlaşma başgançagy.

Ikili kontaktirlemede (IK) kataliziň 1-nji gatlagyndan soň gaz garyndysyndan emele gelen SO_2 ýuwdulýar we kataliziň 2-nji gatlagyna başdaky SO_2 -niň okislenmedik bölegi barýar. IK-de shemasy boýunça öwrülme derejesi $99,5 \div 99,8 \%$. Şonda kataliziň 1-nji gatlagynda öwrülme derejesi $93 \div 95 \%$ we 2-nji stadiýada - $95 \div 97 \%$ -e ýetýär. IK-de kontakt uzeliň shemasy 34-nji suratda görkezilýär.

Kontakt aparatyň 1-nji gatlagyna berilmezden ön gaz ýylylyk çalşyjylarda $420 \div 440^\circ\text{C}$ -a çenli (köplenç daşyna çykarylan ýylylyk çalşyjylarda) gyzdyrylýar.

Katalizatoryň 3-nji gatlagyny geçenden soň gazy ýylylyk çalşyjyda sowadýarlar we absorbsiýanyň 1-nji stadiýasyna ugradýarlar. Ondan soň gaz kontakt uzeliň ýylylyk çalşyjylarynda gyzdyrylýar we kataliziň 2-nji stadiýasyna ugradylýar. Hemişe kataliziň 2 stadiýasynda hem konstruktiv bir kontakt aparat ýerleşdirilýär.

Kataliziň 1 we 2 gatlaklarynyň wariantlary: 3+1, 2+2, 3+2 ýa-da 4+1.

IK-de desgalaryň işleýşi 2-nji basgançakda konwersiýanyň ýeterlik dälligi bilen kynlaşýar, ol kontakt apparatda umumy öwrülme derejesini peseldýär.

Tejribede kataliziň 2-nji stadiýasyna girýän gazyň temperaturasy ahyrky öwrülme dereje $99,5 \div 99,8 \%$ bolanda $420 \div 430 \text{ }^{\circ}\text{C}$ çäklerde bolýar. Has ýokary öwrülme derejeleri almak üçin ($99,9 \%$ -den pes bolmadyk) pes temperaturalarda ýokary işjeňliligi görkezýän katalizatorlar ($400 \div 420 \text{ }^{\circ}\text{C}$) we kiçi ölçegli däneleri ulanmaklyk zerurdyr.

Kataliziň 2-nji stadiýasynda öwrülme derejesini we ahyrky öwrülme derejäni intensifisirleýji faktorlaryň ulanylmagy bilen artdyrmak bolar. Mysal üçin, gaza absorbsiýanyň 1-nji stadiýasyndan soň kislorodyň goşulmagy bilen (aýratyn-da onuň gazdaky mukdary 5% -den pes bolsa).

Kolçedan ýakylanda alnan we $8 \div 9 \%$ SO_2 saklaýan gazlarda, şeýle hem kükürt ýakylanda alnan, $9 \div 10 \%$ SO_2 saklaýan gazlar üçin kilsorodyň ep-esli mukdarynyň (20% -e çenli) goşulmagy 2-nji stadiýada öwrülme derejesiniň uly üýtgemelerini berenok ($0,5 \div 1 \%$ -den köp däl), ol 1-nji stadiýanyň öwrülme derejesi ýokary bolanda, ahyrky öwrülme derejesiniň uly bolmadyk üýtgemelerine getirýär.

Işleýşiniň ynamlylygyny ýokarlandyrmak üçin kontaktlaşdyrmagyň 2-nji stadiýasynda katalizatoryň aralyklaýyn sowadylýan iki gatlagyny ulanmaklyk maksadalaýykdyr. Ol öwrülme derejesini $97,4 \%$ -den $98,5 \%$ -e çenli, ahyrky öwrülme derejäni $99,74 \%$ -den $99,84 \%$ -e çenli artdyrmaga mümkinçilik berýär. Emma, SO_2 -niň başdaky konsentrasiýasy az boldugyça we kataliziň 1-nji gatlagynda öwrülme derejesi ýokary boldugyça,

2-nji stadiýada iki gatlagyň bolmagynyň effekti şonça-da az bolýar. Şonuň üçin, daşary ýurtlarda kataliziň 2-nji stadiýasynda katalizatoryň bir gatlagyny goýýarlar we kataliziň 1-nji stadiýasynda maksimal mümkin bolan öwrülme derejäni gazanmaga çalyşýarlar, mysal üçin, 1-nji stadiýada gatlaklaryň sany 4-e çenli artýar, ol netijede $4+1$ sistemany berýär.

Kataliziň 2-nji stadiýasynda 2-den köp katalizator gatlagyny goýmak maksada laýyk gelýär, sebäbi proses deňagramlylyga golaýlaşanda SO_2 -niň SO_3 -e öwrülme derejesi düýpli ýokarlanýar. Ondan başga-da, 3-nji gatlagyň desgasy goşmaça garşylyk görkezýär, ol bolsa elektrik energiýanyň köp harçlanmagyna we apparatyň bahasynyň ýokarlanmagyna alyp barýar.

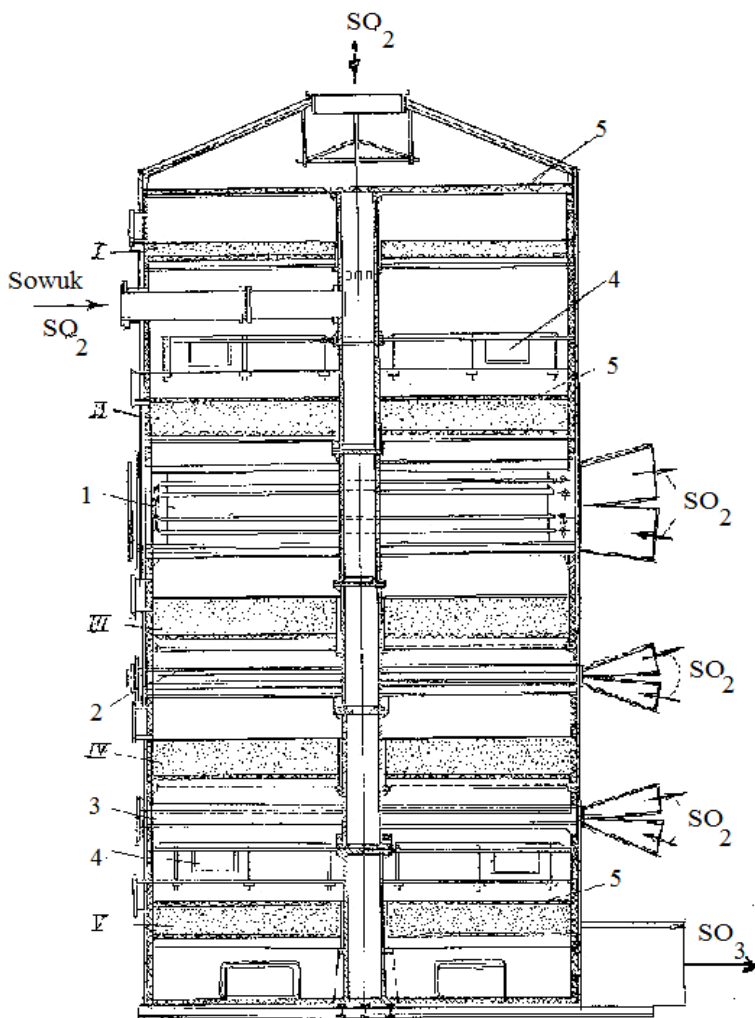
Kontakt apparatlar

35-nji suratda öndüriligi gije-gündizde 540 t bolan aralyklaýyn ýylylyk çalşyly kontakt apparatlar şekillendirilen. Onda 1-nji gatlakdan soň gazy sowatmak üçin sowuk kükürtli gaz goşulýar.

Apparat polat silindrik korpusdan ybarat, onuň merkezinde çoýun turbalardan ýygnalan diregli söýeg ýerleşdirilen. Apparatyň içki diametri 8,5 m, umumy beýikligi 19,6 m. Kontakt massa apparatyň diwarlarynda we direk turbalarda berkidilen gözeneklerde ýerleşdirilen.

Kontakt massanyň 2-nji, 3-nji we 4-nji gatlaklaryndan soň (II-IV) gazyň sowadylmasy aralyklaýyn ýylylyk çalşyjylarda 1-3 amala aşyrylýar. Ýylylyk çalşyjylar kontakt apparata montirlenen. Ýylylyk çalyşma turbalar gorizontall ýerleşdirilen we kontakt massany çykarmazdan arassalap we bejeriş işlerini geçirip bolýar.

GG peçlerde kolçedan ýakylanda ýokary konsentirlenen ýakylýan gaz alynýar. Bu ýagdaýda kontakt massanyň 1-nji gatlagynda käwagt ýokary konsentrisiýaly SO_2 (10÷12 %) gazy okislemekligi geçirýärler, 2-nji gatlakdan öň bolsa, gazdaky SO_2 -niň mukdaryny azaldýarlar, onuň üçin atmosfera howasy goşulýar. SO_2 -niň konsentrisiýasynyň azalmagy bilen bir wagtda gazyň temperaturasy hem peselýär, ol kontakt massanyň 1-nji gatlagyndan soň ýylylyk çalşyjyny ulanmagyň zerurlygyny aradan aýyrýar.



35-nji surat. 1-nji gatlakdan soň sowuk gazyň goşulmagy bilen işleýän kontakt apparat:

1 – V – kontakt massanyň gatlaklary; 1-3 – aralyklaýyn ýylylyk çalşyjylar; 4 – garyjylar; 5 – kwars gatlagy.

Aralyklaýyn ýylylyk çalşyjylar kontakt apparatyň (31-nji surat, a) içinde ýerleşdirilse, apparatyň konsentrasiýasy

çylşyrymlaşýar, şonuň üçin, soňky ýyllarda ýokary öndürijilikli kontakt sistemalarda daşyna çykarylan ýylylyk çalşylyly kontakt apparatlary ulanmaklyk göz önünde tutulan.

Apparatyň ýönekeýligi we işleýşiniň ynamlylygyndan başga-da, olaryň ýene bir artykmaçlyklarynyň biri – olarda katalizatorda SO_2 -ni okisleme prosesini amala aşyrmak üçin optimal şertleriň aňsat döredilýänliginden ybaratdyr, daşyna çykarylan ýylylyk çalşylylarda bolsa – ýylylyk geçirme prosesi üçin optimal şertler döredilýär.

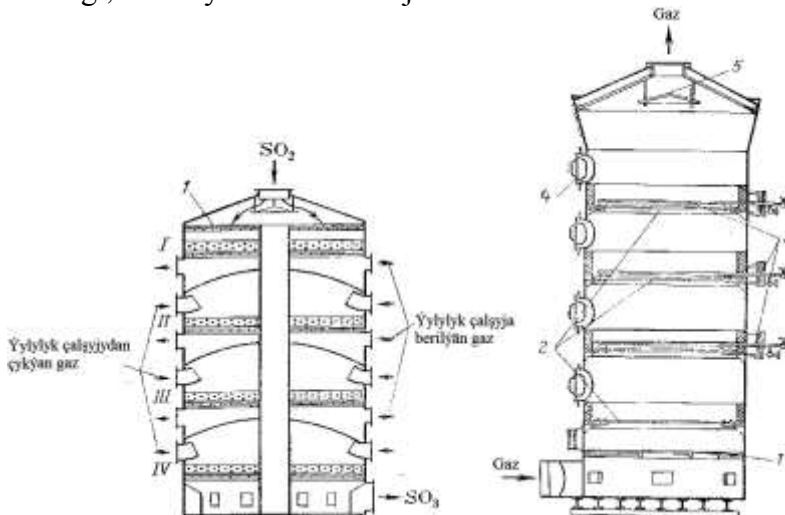
Bu prosesleri bir apparatda utgaşdyrmagyň maksadalaýyk dældigi aýratyn-da kontakt apparatlaryň ýokary öndürijiliginde aýdyň ýüze çykýar. Ondan başga-da, daşyna çykarylan ýylylyk çalşylyly apparatlarda gaz her gatlakdan soň ýylylyk çalşylylara barýan ýolunda we onuň içinde gowy garyşdyrylýar, onuň bolsa aýratyn-da uly bir kuwwatly apparatlar üçin ýokary öwrülme derejesini gazanmak üçin ähmiýeti uludyr.

36-njy suratda öndürijiligi gije-gündizde 1000 t H_2SO_4 bolan daşyna çykarylan ýylylyk çalşylyly kontakt aparat görkezilen. Şonuň ýaly apparatyň diametri 12 m, umumy beýikligi 22 m. Korroziýadan goramak üçin apparatyň içki diwarlary alýumininiň ýuka gatlagy bilen örtülen (pürkmek bilen).

Gaýnaýan gatlakly kontakt massaly kontakt apparatyň takmynan shemasy 39-njy suratda görkezilen. Gaz yzygider gaz ýaýradyly gözeneklerde (2) ýerleşdirilen kontakt massa gatlagy arkaly aşakdan ýokaryk tarap geçýär. Artykmaç reaksiýa ýylylyk ýylylyk çalşylyly elementleriň (3) kömegi bilen çykarylýar. Apparatyň ýokarky bölegi giňeldilen we gatlakdan katalizatoryň çykarylmany azaltmak üçin urujy (5) bilen üpjün edilen.

Gaz ýaýradylylar gapajykly (kolpaçok) gözeneklerden durýar. Olarda däneleriniň ölçegi 0,75-1 mm bolan wanadiý kontakt massasy ýerleşdirilen. Apparata girýän ýerinde gazyň

temperaturasy $300\div350\text{ }^{\circ}\text{C}$, gidrawliki garşylygy 10^4 Pa töweregi, umumy öwrülme derejesi $95\div98\%$.



36-njy surat. Öndüriligi gije-gündizde 1000 t bolan daşyna çykarylan ýylylyk çalşyýjy kontakt apparat:

37-nji surat. Kontakt massasy gaýnaýan gatlakly kontakt apparat:

1 – deňleşdiriji gözenek; 2 – gaz ýaýradyjy
I-IV – kontakt massanyň gatlagy; gözenekler; 3 – ýylylyk çalşyýjy
I – kwars gatlagy elementler 4 – lýuklar; 5 – urujy; I-IV – massanyň
gatlaklary.

Gaýnaýan gatlakda intensiw garyşma prosesinde sürtülmegi netijesinde kontakt massanyň ýitgisi ýylda $10\div20\%$ -e ýetýär (senagat apparatyň 5 ýyllyk synaglarynyň esasynda goýlan).

7.5.2. Ýylylyk çalşyýjy apparatura

Ýylylyk çalşyýjy. (38-nji surat) Ýylylyk çalşyýjy apparat polatdan ýasalan wertikal silindr, ýokarsynda we aşaky böleginde gözenek (1) goýlan, olara polat turbalar geçirilen. Korpusyň içinde turbalaryň arasyndaky giňişligiň kesimi

boýunça gazyň gyradeň ýaýramagy we ýylylyk beriji koeffisiýentiň ýokarlanmagy üçin gorizonta görnüşde böwet (2) ýa-da gözenek ýerleşdirilen. Gyzgyn gaz (SO_3) kontakt apparatdan ýylylyk çalşyjynyň turbalary boýunça ýokardan aşak turbalaryň arasyndaky giňişligiň aşagyndan berilýän kükürt dioksidine ters akymlaýyn geçýär (ýa-da tersine).

Eger kontakt bölümine geçýän ýakylýan gaz ümür görnüşli kükürt kislotasyny saklaýan bolsa, ol ýylylyk çalşyjynyň turbalarynyň arasyndaky giňişlikde bölekleyin çökýär, onuň netijesinde turbalaryň diwarlary tiz dargaýar.

Turbalaryň üstünde emele gelen korroziýanyň önümleri ýylylyk beriji koeffisiýenti peseldýär we ýylylyk çalşyjynyň aralyklaýyn gözenekleriniň deşiklerini dykýar. Kontaktlaşmaga berilýän gaz ýokary çyglylykda bolanda ýylylyk çalşyjynyň turbalarynyň içki üsti hem korroziýa sezewar bolýar, ol SO_3 bilen suwuň özara täsirleşmesi bilen emele gelýän kükürt kislotasynyň kondensasiýasynyň netijesinde bolup geçýär. Kükürt kislotasynyň köp mukdary birinji ýylylyk çalşyjyda – turbalarda kondensirlenýär, ol sowuk kükürtli gazyň girýän ýerinde ýerleşen, sebäbi bu ýerde onuň temperaturasy has pes we ýylylyk beriji koeffisiýenti ýokary bolýar.

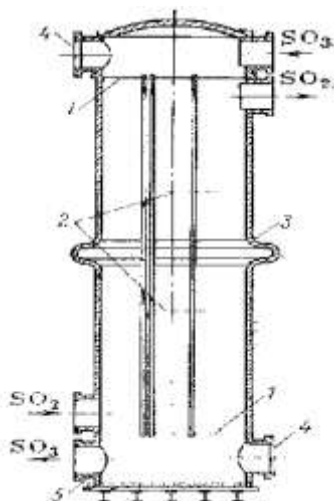
Kontakt apparatdan soň gaz garyndysynda 0,01 % çyglylyk saklananda, şonça-da H_2SO_4 -nyň buglary emele gelýär, ýagny 0,01 göwr. % we $0,437 \text{ g/m}^3$. Şonuň ýaly çyglylykda çygyň temperaturasy 100°C töweregidir.

Şunuň ýaly şertlerde kükürt kislotasy ýylylyk çalşyjyda ýylylyk çalşyjy turbalaryň diwarlarynyň temperaturasy 100°C -dan pes bolanda kondensirlenýär. Gazyň çyglylygy ýokary bolan ýagdaýynda, kükürt kislotasynyň kondensasiýasy diwarlaryň has ýokary temperaturasynda geçer (gazyň çyglylygy 0,1 % bolanda, kondensasiýa 150°C töwereginde başlanýar).

Guradyjy bölüm kadaly işlän ýagdaýynda we gazda kontakt apparatyň oň ýanynda 0,01 % çyglylyk saklanýan bolsa, ýylylyk çalşyjylarda kislota kondensirlenmeýär. Gazyň

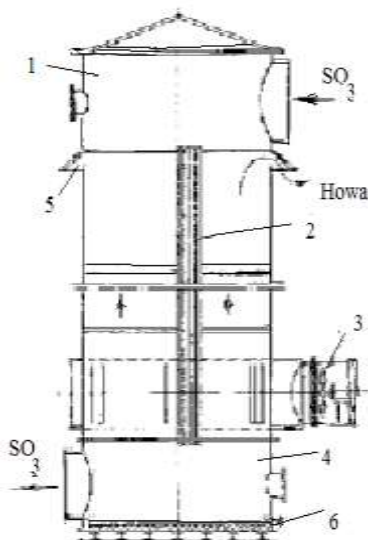
ýokary çyglylygynda turbalarda bölünip çykýan kislotany wagtal-wagtal ýylylyk çalşyjdanyň apparatyň düýbüne golaý ýerleşen deşik arkaly çykarýarlar.

Ýylylyk çalşyjynyň turbalary az-kem jebis bolmasa, gaz turbalaryň arasyndaky giňişlikden turbalara geçýär, sebäbi olarda gazyň basyşy pes bolýar. Absorbsiýa berilýän gazda SO_2 -niň mukdary artýar we kükürt dioksidiň ýitgisi köpeliýär, ol absorpsion bölümde tutulmaýar-da zyňylýan gazlar bilen çykýar.



38-nji surat. Ýylylyk çalşyjy:

1 – turbaly gözenek; 2 – böwet; 3 – kompensator; 4 – laz; 5 – kislota dökmek üçin deşik.



39-njy surat. Angidrid sowadyjy:

1 – ýokarky kamera; 2 – ýylylyk çalşyjy turbalary; 3 – wentilýator; 4 – aşaky kamera; 5 – howany çykarmak üçin deşik.

Angidrid sowadyjysy.

Ýylylyk çalşyjyda gazyň temperaturasy $200\div 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ -a çenli peseliýär, kükürt angidridiniň absorbsiýasy bolsa pes

temperaturada geçirilýär, şonuň üçin hem gaz goşmaça angidrid sowadyjyda sowadylýar.

Ýylylyk çalşyjydan tapawutlanmaýan dürli konstruksiýaly angidrid sowadyjylar hem ulanylýar. Hemişe turbalar boýunça ýokardan aşak gaz hereket edýär, ol kontakt bölüminden berilýär, turbalaryň arasyndaky giňişlikde bolsa – howa ýa-da suw hereket edýär.

39-njy suratda howa bilen sowadylýan angidrid sowadyjy görkezilen. Gaz kabul ediji kamera (1) berilýär, turbalar boýunça (2) aşak düşýär we aşaky kameradaky (4) ştuser arkaly çykýar. Wentilýator (3) bilen alynýan atmosfera howasy turbalaryň arasyndaky giňişlikden geçýär we ýokarky turba gözeneginiň gapdalynda ýerleşen halkaly deşik (5) arkaly çykýar.

Angidrid sowadyjyda kä halatlarda gazda saklanýan suw buglary bilen SO_3 -ň täsirleşmesinde emele gelýän kükürt kislotasy kondensirlenýär. Bu prosesiniň mümkinçiligi gazdaky suw buglarynyň mukdary we sowadyan suwuň ýa-da howanyň mukdary bilen kesgitlenýär. Kislota kondensaty wagtal-wagtal angidrid sowadyjynyň aşaky kamerasyndan (4) düýbün golaýyndaky deşik (6) arkaly çykarylýar.

Sowadyan suwuň temperaturasy örän pes ýa-da gazyň çyglylygy ýokary bolanda, angidrid sowadyjynyň turbalarynyň üstünde kükürt kislotasynyň buglarynyň kondensasiýasy prosesinde ýüze çykýan aşa doýgun bug kritiki ululykdan ýokary geçýär, şonuň bilen baglylykda kükürt kislotasynyň ümüri emele gelýär. Ol az mukdarda absorpsion başnyda tutulýar, esasan bolsa çykýan gazlar bilen atmozfera zyňylýar.

Ümüriň emele gelmezligi üçin, angidrid sowadyja ýyladylan suw berilýär ýa-da turbalarda we turbalaryň arasyndaky giňişlikde akymalaryň parallel hereketini döredýärler. Eger gazy sowatmak üçin howa ulanylýan bolsa, onda ümüriň emele gelmesi azalýar, sebäbi ýylylyk beriji

koeffisiýenti peselýär we turbanyň diwarynyň temperaturasy has ýokary bolýar.

Kontakt bölümine berilýän gaz 0,01 %-den az çyglylyk saklaýan bolsa, angidrid sowadyjyda kislotanyň kondensasiýasy geçmeýär.

Suw bilen sowadylýan angidrid sowadyjylaryň ýermezçiligi – turbalaryň jebis bolmadyk ýagdaýynda turbalaryň arasyndaky giňişlikde aýlanýan suw turbalara düşüp, SO_3 bilen birleşýär, suwuklanan kükürt kislotasyny emele getirýär, ol sowadyjyny tiz dargadýar.

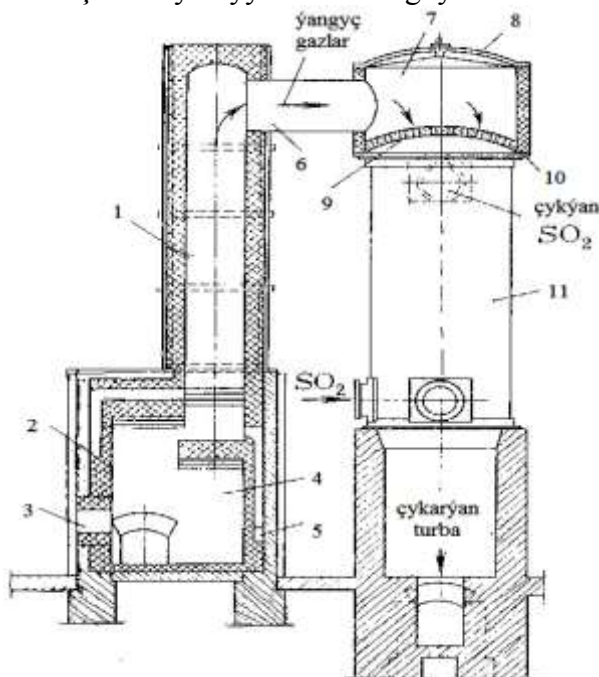
Angidrid sowadyjydan çykýan gyzgyn suw (ýa-da howa) jaýlary ýylatmak ýa-da beýleki maksatlar üçin ulanylýar.

Käbir zawodlarda angidrid sowadyjylary ulanylanok, kontakt bölüminden gelýän gazlar absorberi suwarýan kislotany gyzdýrýarlar. Şonuň ýaly ýagdaýlarda uly üstli sowadyjylar ulanylýar, gazlaryň ýylylygy ulanylmaýar.

Gyzdyryjy. 40-njy suratda gyzdýryjynyň has giňden ýaýran görnüşi görkezilen. Ol ýakyjydan, şahtadan, kabul ediji kameradan we (gyzdýryjydan) ýylylyk çalşyjydan ybarat. Ýakyjy (4) oda çydamly kerpiçden ýygnaýan kamera bolup, oňa forsunka arkaly suwuk ýangyç ýa-da gaz üflenilýär. Ýakylanda emele gelýän önümler howa bilen garyşýar, howa 2 we 5 penjire arkaly sorulýar, we 600-650 °C-da şahta (1) berilýär. Ol ýerden ýakylýan gazlar çoýun ýa-da polat futerowkaly turba (6) arkaly polat kabul ediji (7) kamera ugradylýar, ol çoýun gapak (8) bilen ýapylan we oda çydamly kerpiç bilen futerowka edilen.

Gyzdyryjy (11) polatdan ýasalan silindr görnüşinde bolup, ýokarsynda we aşagyndaky gözeneklere turba geçirilen. Silindr kerpiç fundamentde goýlan. Ýokarky gözenegiň üstünde 80×80 mm ölçegde deşikleri bolan gümmez görnüşli gapak goýlan. Ol gyzdýryjynyň diametri boýunça gazyň gyrađen ýaýramagy üçin niýetlenen. Turbalaryň arasyndaky

gözenekde biri-birinden käbir aralykda ýylylyk beriş şertlerini gowulandyrmak üçin aralyklaýyn böwetler goýlan.



40-njy surat. Gyzdyryjy:

- 1 –şahta; 2 – 3 – howa bermek üçin penjire; 3 – forsunka üçin deşik;
4 – ýakyjy; 6 = çoýun turba; 7 – gyzdyryjynyň kabul ediji kamerasy;
8 – çoýundan gapak; 9 – deşikli gapak; 10 – futerowka; 11 – ýylylyk
çalşyjy (gyzdyryjy).

Ýakylýan gazlar gyzdyryjydan ýokardan aşaklygyna geçýär, turbalaryň arasyndan ters akymlaýyn gelýän kükürt dioksidini gyzdyrýarlar, 300-350 °C-a çenli sowadylýar we tüsse çykarýan turba tarap ugrukdyrylýar. 50-60 °C-da gyzdyryjynyň turbalarynyň arasyndaky giňişlige barýan gaz garyndysy 450-500°C-a çenli gyzýar. Gyzdyryjynyň turbalary ýakylýan gaz bilen gyzdyrylýar we turbalaryň temperaturasy apparatyň korpusyndan ýokary bolýar.

Eger kükürt kislotasy sehinde birnäçe kontakt apparatlary bar bolsa, hemişe bir gyzdyryjy goýulýar, ol gaz

geçirijiniň kömegi bilen islendik kontakt apparata birikdirilip bilinýär.

Beýan edilen gyzdryjynyň ölçegleri kiçi, iş režimine çalt girýär, apparatda gyzdymak prosesi aňsat sazlanýar. Emma onuň ýaly gyzdryjy diňe dowamy uzak bolmadyk iş üçin teklipl edilýär, sebäbi ýanýan gyzgyn gazlaryň täsirine ýokarky turbaly gözenekde jaýryk emele gelýär, şolar arkaly hem gazyň akması bolup geçýär. Eger gözegçilik edilmän ýakylýan gazlar gyzdryjynyň ýokarky kamerasyna (7) ýokary temperaturada berilse, ýokarky turbaly gözenek ýanýar we gyzdryjy sandan çykýar.

Az mukdarda SO₂ saklaýan gaz kontaklaşdyrylanda gazy hemişe gyzdryp durmaly bolýar. Bu ýagdaýda çöýundan ýasalan turbaly gyzdryjylar goýulýar. Olar U-şekilli formada bolup, kerpiç kamerada ýerleşdirilýär, ol ýere gyzdryjynyň ýakyjy bölüminden gyzgyn gazlar berilýär.

8. GAZYŇ GURADYLYŞY WE KÜKÜRT ANGIDRIDINIŇ ABSORBSIÝASY

Gazlaryň çyglylygy we guratma-absorbsiýa siklinde kislota aýlanşyk

Gury kataliz shemasy boýunça işleýän kontakt sistemalarda gaz kontakt uzelden öň suw buglaryndan arassalamaklyga sezewar edilýär.

Eger suw buguny saklaýan gazlar ýokary temeperaturada (400 °C) berilýän bolsa, onda suw buglary wanadiý kontakt massasynyň işleýşine zyýanly täsir edenoklar. Emma kontakt uzele gazy öl arassalamadan soň suw saklaýşy ýaly berilse, onda absorbsiýa prosesi oleumyň alynmagy bilen çylşyrymlaşar. Ondan başga-da, kontakt uzele sowuk gaz berilýän bolsa, ondaky saklanýan suw buglary SO_3 bilen bilelikde H_2SO_4 -nyň buglaryny berip bilerler, olar ýylylyk çalşyjylaryň turbalarynyň diwarlarynda çökdürilende ony dargadýarlar.

Suw bugy kükürt kislotasy bilen ýuwdulanda köp ýylylyk bölünip çykýar, şonuň netijesinde kislota gyzýar we bölekleýin bugarýar. Kükürt kislotasynyň ümüri gaz akymy bilen çykýar we başnyadan soň shema boýunça ýerleşdirilen apparaturanyň dargamagyny ýüze çykarýar. Şonuň üçin, gaz guradylandan soň ondaky ümüriň rugsat berilýän mukdary 5 mg/m^3 gury gazdan ýokary geçmeli däl. Tablisada 45 kontakt usul boýunça kükürt kislotasynyň zawodlarynda guradyjy başnyadan soň gazdaky ümüriň saklanyşy barada maglumatlar getirilen.

6-njy tablisa

Ümüriň saklanyşy (mg/m^3)

Kislotanyň konsentrasiýasy, %	Temperatura, °C			
	40	60	80	100
90	0,6	2	6	23
95	3	11	33	115
80	9	19	56	204

Getirilen maglumatlardan görnüşi ýaly, eger guradyjy başnýa bir bolsa, onuň $35\div 40$ °C-da suwarylmagy üçin konsentrasiýasy $90\div 98$ % çäklerde bolan kükürt kislotasy ulanylyp bilner. Iş tejribesiniň görkezişi ýaly suwarmak üçin konsentrasiýasy $93,5\div 98,5$ % bolan kislotany ulanmalydyr.

Guradyjy başnýa girýän gazyň temperaturasy $25\div 30$ °C (35 °C-den ýokary bolmaly däl); ondan has ýokary temperaturalarda gaz bilen bilelikde köp mukdarda suw buglary girýär we tutuş önümi oleum görnüşinde almak mümkin däl. Guradyjy başnýada gazyň temperasy takmynan 50 °C-a çenli ýokarlanýar. Oleum absorberine girýän ýerinde ony $60\div 100$ °C (angidrid sowadyjydan soň) çäklerde saklýarlar. Käbir zawodlarda (aýratyn-da angidrid sowadyjy ýok ýadaýynda) temperatura ýokary bolýar – ol 180 °C-a çenli ýetýär. Bu ýagdaýda oleum absorberiň suwarylyşyny ýokarlandyrmak gerek, ol şol absorberiň sowadyjylaryna agramyň köpelmegine getirýär. Oleum absorberden soň gazyň temperaturasy 50 °C. Suwaryan kislotalaryň temperaturasy $35\div 45$ °C çäklerde saklaýarlar, başnýadan çykýan kislotanyňkyny bolsa - $50\div 60$ °C.

8.1. Gaz garyndysyndan kükürt angidridiniň absorbsiýa prosesiniň fiziki-himiki esaslary

Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasy önümçilginiň soňky stadiýasy gaz garyndysyndan SO_3 -i bölüp almak we ony kükürt kislotasyna öwürmekdir.

Kontakt apparatdan öň gazyň guratmaga sezewar edilýänligine ýa-da edilmeýänligine baglylykda, SO_3 -i bölüp almak prosesiniň mehanizmi tapawutlanýar. 1-nji ýagdaýda ol kükürt kislotasy bilen absorbirlenýär, 2-nji ýagdaýda kükürt kislotasynyň kondensasiýasy geçýär.

Zawodlaryň köpüsinde gaz guradylýar we SO_3 başnyalarda we absorberlerde kükürt kislotasy bilen

absorbirlenýär. SO_3 kükürt kislotasynda ereýär, soňra ondaky bar bolan suw bilen täsirleşýär:



Suwuň we SO_3 -ň mukdar gatnaşygyna baglylykda dürli konsentrasiýaly kükürt kislotasy alynýar. $n > 1$ bolanda oleum, $n = 1$ -de - monogidrat (100%-li H_2SO_4), $n < 1$ -de - kükürt kislotasynyň suwly ergini, ýagny suwuklandyrylan kükürt kislotasy alynýar.

Absorbsiýadan soň gaz garyndysy ýuwdulmadyk kükürt ангидриди bilen atmosfera zyňylýar. Çykýan gazlar bilen SO_3 -iniň ýitgisiniň azalmagy üçin absorpsion bölüminde onuň ýuwdulmagy mümkin boldugyça has doly bolmalydyr.

Kontakt desgalar tutuş önümi (ýuwujy kislotadan başgasy) oleum görnüşinde çykarmaga taýýar bolmaly. Ol kükürt kislotasynyň beýleki tehniki sortlaryndan gymmatly önüm bolup durýar. Oleuma talap bolmadyk ýagdaýynda, ony monogidrat absorberiň ýygnaýjysyna berýärler, monogidrat bolsa – guradyjy başnýanyň ýygnaýjysyna geçirýär, ol ýerde ony 3÷95 %-li kükürt kislotasyna çenli suwuklandyrýarlar.

Oleumy almak üçin SO_3 saklaýan gaz başda oleum bilen suwarylýan (oleum absorberi) absorberden geçirýärler. Bu ýerde SO_3 -ň diňe bir bölegi ýuwdulýar, onuň gutarnykly ýuwdulmagy monogidrat bilen suwarylýan (monogidrat absorberi) ikinji absorberde geçirilýär. Oleumyň konsentrasiýasy artdygyça (SO_3 -ň ýuwdulmagy netijesinde) oňa monogidrat absorberinden kislota goşulýar we emele gelen oleumyň artykmajy ammara geçirilýär. Şeýlelikde, tutuş önümiň oleum görnüşinde çykarylmagy üpjün edilýär.

Standarta laýyklykda önüm bolan oleumda SO_3 (erkin) 19 %-den az bolmaly däl, şonuň bilen hem oleum absorberi suwarylýar. Monogidrat absorberi suwarýan kükürt kislotasynyň konsentrasiýasy 98,3 % töweregi bolmaly. Şeýle

konsentrasiýaly kislota SO_3 -i gowy absorbirleýär, sebäbi onuň üstünden SO_3 -ň buglarynyň we suwuň basyşy örän pes.

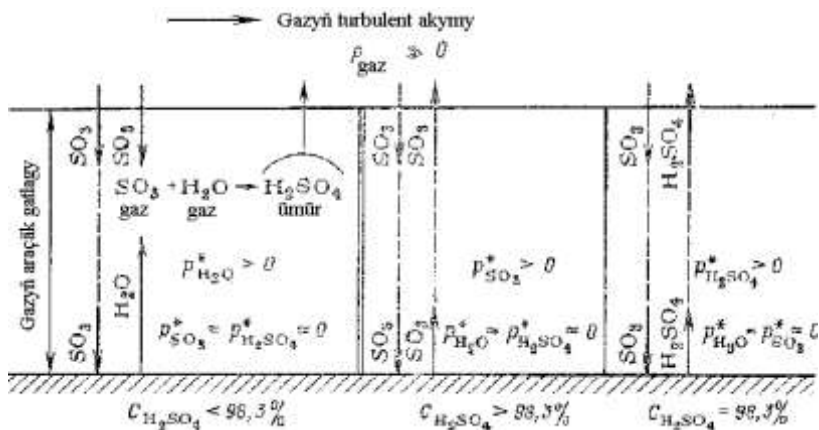
Öl kataliz usuly boýunça kükürt kislotasy alnanda kontakt bölüminden çykýan gazlarda suw buglary kükürt kislotasynyň emele gelmegi üçin zerur bolan mukdardan köpdür. Şonuň ýaly gaz sowadylanda kükürt angidridi suw buglary bilen H_2SO_4 -nyň buglaryny emele getirýär, olar bolsa soňra başnyda kondensirlenýär. Şeýlelikde, öl kataliz usulynda SO_3 -ň absorbsiýasy däl-de, kükürt kislotasynyň buglarynyň kondensasiýasy geçýär.

Eger 95 %-den pes konsentrasiýaly kükürt kislotasy çykarylýan bolsa, onda SO_3 -i bölüp almaklygy kükürt kislotasynyň buglarynyň kondensasiýasy usuly bilen geçirmeklik amatly, ol SO_3 -ň absorbsiýasy bilen deňeşdirilende uly tizlikde geçýär. Ondan başga-da, kondensasiýa ýokary temperaturada geçýär, bu bolsa ýylylygyny çykarylmagyny we onuň ulanylmagyny aňsatlaşdyrýar.

8.1.1. SO_3 -ň kükürt kislotasy bilen absorbsiýasy

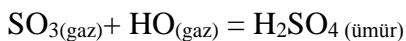
Gaz halyndaky kükürt angidridi 98,3 %-li kükürt kislotasy bilen has doly absorbirlenýär; kükürt kislotasynyň konsentrasiýasy az ýa-da ondan köp bolsa, onuň ýuwdulmaga ukyplylygy ýaramazlaşýar. Bu baglylyk şeýle düşündirilýär: kislotanyň konsentrasiýasy 98,3 %-den az bolanda, kükürt kislotasynyň üstünden SO_3 ñ deňagramly basyşy örän pes ($P_{\text{SO}_3}^* \approx 0$), suw bugunyň deňagramly basyşy bolsa köp ($P_{\text{H}_2\text{O}}^* \approx 0$), şonuň üçin kükürt kislotasynyň üstünden suw bugunyň bugarmasy (desorbsiýa) bolup geçýär (41-nji surat).

SO_3 -ň molekularynyň esasy bölegi kükürt kislotasynyň (diffundirleýär) üstüne geçýär we kükürt kislotasy bilen absorbirlenýär, emma onuň başga bölegi kükürt kislotasynyň üstünden bugarýan we gazyň esasy akymyna diffundirlenýän suw buglary bilen gabatlaşýarlar.



41-nji surat. Dürli konsentrasiýaly kükürt kislotasy bilen SO_3 -iň absorpsiýasynyň shemasy ($p_{\text{H}_2\text{O}}^*$, $p_{\text{SO}_3}^*$; $p_{\text{H}_2\text{SO}_4}^*$ - H_2O , SO_3 we H_2SO_4 -iň kükürt kislotasynyň üstünden deňagramly basyşy)

Bu molekular çaknyşyp, kükürt kislotasynyň buglaryny emele getirmek bilen birleşýärler, olar soňra göwrümde kondensirlenip, kükürt kislotasynyň (ümür) ownuk damjajyklaryny emele getirýärler:

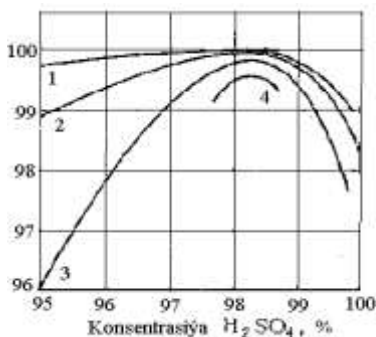


Emele gelen ümür adaty absorbsion apparatda kynlyk bilen tutulýar we esasan zyňylýan gazlar bilen atmosfera çykýar. Kükürt kislotasynyň konsentrasiýasy pes we onuň temperaturasy ýokary boldugyça, ondan bölünip çykýan suw buglary şonça-da köp, şeýle hem köp ümür emele gelýär we SO_3 -ň ýitgisi uly bolýar.

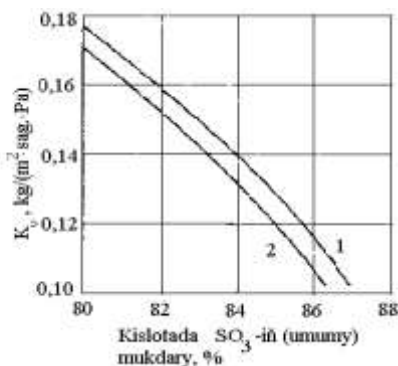
Eger kükürt kislotasynyň konsentrasiýasy 98,3 %-den köp bolsa, kislotanyň üstünden deňagramly basyş ýokary bolýar ($P_{\text{SO}_3}^* > 0$), şonuň üçin ol kükürt kislotasy bilen doly absorbirdilenok. Bu ýagdaýda hem zyňylýan gazlar SO_3 -ň käbir bölegini atmofera alyp gidýär. Şeýlelikde, suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy 98,3 %-den az ýa-da köp bolsa

kükürt angidridiniň absorbsiýasy peselýär; ol temperatura ýokary boldugyda pes bolýar, sebäbi H_2O bugy bilen SO_3 -ň kükürt kislotasynyň üstünden deňagramly basyşy temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artýar.

Kislotanyň konsentrasiýasy 98,3 % bolanda suw bugunyň we SO_3 -ň deňagramly basyşy pes bolýar ($p_{\text{suw}}^* \approx 0$; $p_{\text{SO}_3}^* \approx 0$) , emma kükürt kislotasynyň özüniň deňagramly basyşy ýokary, şonuň üçin kükürt kislotasynyň buglarynyň onuň üstünde bugarmasy bolup geçýär (desorbisiýa) we SO_3 -ň absorbsiýasy peselýär. Emma, 100 °C –dan ýokary temperaturada (tejribede kükürt kislotasynyň absorbsiýasy şol temperaturada geçirilýär) kükürt kislotasynyň buglarynyň deňagramly basyşy örän pes, şonuň üçin önümçilik şertlerinde 98,3 %-li kükürt kislotasynyň SO_3 –e bolan gatnaşykda absorbsion ukyplylygy has ýokary bolýar.



42-nji surat. Dürli temperaturada monogidrat absorderde SO_3 -iň absorbsiýa derejesi: 1 – 60 °C; 2 – 80 °C; 3 – 100 °C; 4 – 120 °C.



43-nji surat. K_o -ň kükürt kislotasynyň konsentrasiýasyna we temperatura baglylygy: 1 – 30 °C; 2 – 60 °C

Monogidrat absorberinde SO_3 -ň ýitgisi
(gazdaky SO_3 -ň konsentraiýasy 7,2 %, H_2SO_4 -ň 1 t/s-a
goýumyň üsti $F=100 \text{ m}^2$, gazyň tizligi $w=0,8 \text{ m/s}$)

Suwarýan kislotanyň temperaturasy, °C	SO ₃ -ň ýitgisi			Absorbsiýa derejesi, %
	SO ₃ -ň doly bolmadyk absorbsiýasy	H ₂ SO ₄ -ň ümüriniň emele gelşi	H ₂ SO ₄ -ň bygaryşy	
Suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy 95 % H ₂ SO ₄				
60	0,009	0,220	0,0003	9,777
80	0,009	1,03	0,019	98,944
100	0,009	4,00	0,0667	95,93
120	0,009	13,38	0,205	86,41
Suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy 98,3 % H ₂ SO ₄				
60	0,009	0	0,006	99,99
80	0,009	0	0,037	99,95
100	0,009	0	0,135	99,86
120	0,009	0	0,415	99,58
Suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy 101 % H ₂ SO ₄				
60	3,34	0	0,006	96,65
80	9,80	0	0,037	90,16
100	31,50	0	0,135	68,36
120	59,30	0	0,415	40,28

SO_3 -ň kükürt kislotasy bilen ýuwdulanda absorbsiýa
derejesi şu deňleme arkaly kesgitlenilýär:

$$K = K_0 w^{0,8}$$

bu ýerde K_o – konsentrasiýa we temperatura bagly koeffisiýent; w – gazyň absorberdäki tizligi (onuň goýum bilen doldurylyşyny hasaba alman), m/s.

Suratda we tablisada monogidrat absorberinde kükürt angidridiniň absorbsiýa derejesiniň suwaryan kislotanyň konsentrasiýasyna we temperaturasyna baglylygy görkezilen (42-nji surat we 7-ni tablisa).

8.2. Häzirki zaman kontakt zawodyň absorbsion bölümi

Absorberlerde kükürt kislotasyny gaz garyndysyndan diňe kükürt angidridini bölüp alýar, gazyň galan bölegi absorberlerden geçip, atmosfera zyňylýar. Hemişe SO_3 iki sany yzygider birleşdirilen absorberlerde ýuwdulýar: birinjisi – oleum we ikinjisi – monogidrat absorberi (44-nji surat).

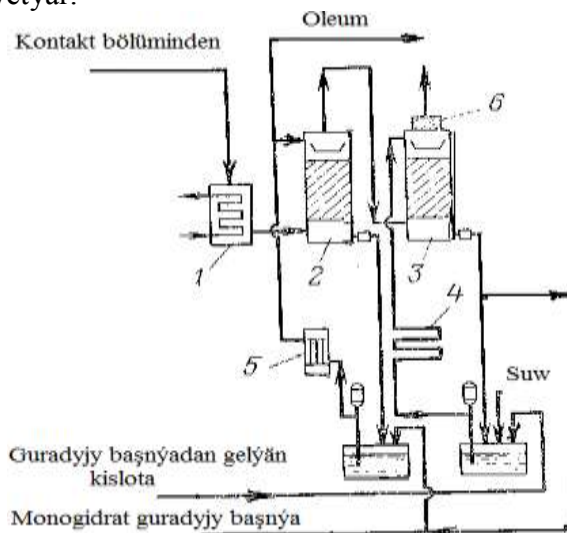
Kontakt bölüminden gaz angidrid sowadyja, soňra oleum absorbere berilýär. (44-nji surat).

Kükürt angidridini ýuwdup, oleum H_2SO_4 -ň emele gelme reaksiýasynyň ýylylygynyň hasabyna gyzýar. Gyzgyn konsentirlenen oleum absorberden (2) ýygnaýja geçýär; bu ýere suwuklandyrmak üçin monogidratyň zerur bolan mukdary berilýär. Ýygnaýjydan oleum turbaly sowadyjy (5) arkaly absorberi (2) suwarmak üçin berilýär. Oleumyň bir bölegi ammara berilýär ýa-da konsentirlenen kükürt kislotasyny almak üçin ulanylýar.

Gaz oleum absorberinden (2) monogidrat absorbere (3) berilýär. Ol 98,3 %-li kükürt kislotasyny (monogidrat) bilen suwarylýar. Kükürt angidridi ýuwdulanda kislota gyzýar we onuň konsentrasiýasy köpeliýär. Absorberden (3) monogidrat ýygnaýja geçýär, ol ýere suwuklandyrmak üçin guradyjy başnyadan kislota ýa-da suw goşulýar. Gyzgyn kislota sowatmak üçin ýygnaýjydan suwarylýar sowadyja (4) geçirilýär

we täzeden monogidrat absorberi (3) suwarmak üçin berilýär. Monogidratyň bir bölegi oleum ýygnaýja we guradyjy başnýa üznüksiz berilýär. Monogidrat absorberinden gazlar, kükürt kislotasynyň syçramalaryndan we ümürden bölme üçin filtrden geçirilýär we soň atmosfera çykarylýar.

Absorbsion bölümiň esasy görkesijileri - SO_3 -ň doly absorbsiýasynyň geçmegidir; monogidrat absorberiň optimal režiminde çykýan gazlar dury bolýar, olarda diňe kükürt kislotasynyň yzlary galýar. Monogidrat absorberini suwarýan kislotanyň konsentrasiýasy 98,3 %-den az ýa-da köp bolanda, ümür emele gelýär we çykýan gazlar göze görünýär. Monogidrat absorberinde ümür şeýle hem gazyň ýokary çyglylygynda emele gelýär. Hemişe guradyjy başnýadan soňky gazlarda 0,01 % suw buglary galýar. Kontakt apparatdan soňky gazlarda köp mukdarda SO_3 saklanýanlygy üçin, gaz sowadylanda suw buglary doly kükürt kislotasynyň buglaryna öwrülýär, onuň konsentrasiýasy bolsa 0,01 %, ýa-da 0,437 g/m³-a ýetýär.



44-nji surat. Absorbsiýa bölümi:

- 1 - angidrid sowadyjy; 2 - oleum absorberi; 3 - monogidrat absorberi;
4- suwarýan sowadyjy; 5 – turbaly sowadyjy; 6 – filtr.

Kükürt kislotasynyň buglary absorberiň goýumynyň üstünde kondensirlenýär. Suwarýan kislotanyň örän pes temperaturasynda ýa-da gazyň ýokary çyglylygynda kükürt kislotasynyň buglarynyň bir bölegi göwrümde ümüri emele getirmek bilen kondensirlenýär, olar absorberlerde çökmeyär we atmosfera zyňylýar.

8.2.1. Absorbsion bölümiň apparaturasy

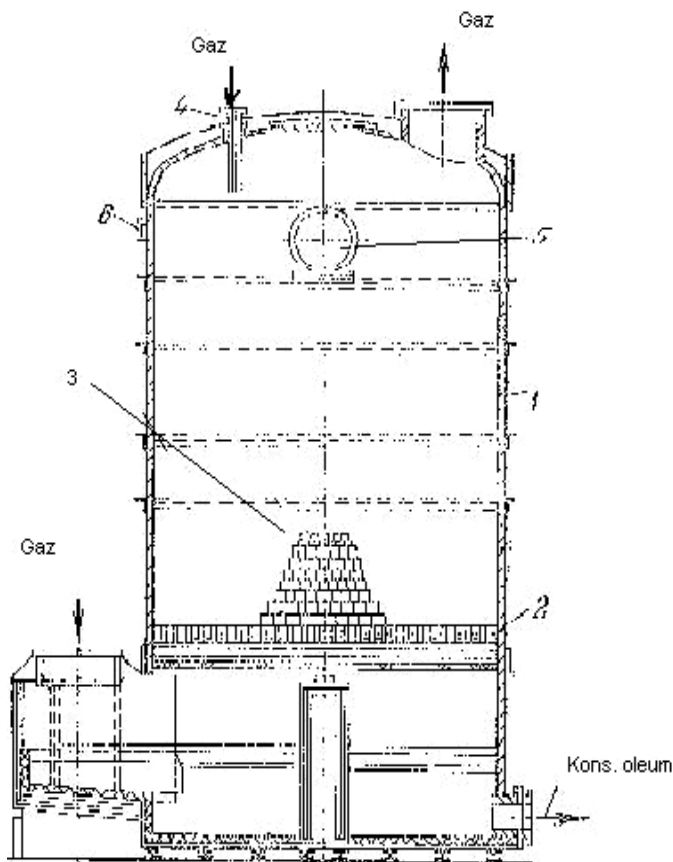
1.1. Oleum (birinji) absorberi.

Oleum absorberi polatdan wertikal silindr (1) görnüşinde ýasalan goýumly skrubber (surat.20). Onuň aşaky böleginde gözenek (2) ýerleşdirilen, onuň üstünde goýum (3) (polat ýa-da keramiki halkalar) goýulýar (45-nji surat).

Köne zawodlarda absorberiň diwarlary kislotaçydamly kerpiç bilen örtülen, gözenek bolsa andezit ýa-da başga kislotaçydamly plita bilen berkidilen. Täze zawodlarda oleum absorberiň diwarlary örtülmedikdir.

Absorberiň goýumy boýunça kislotanyň gyrađen ýaýramagy üçin dürli görnüşli gurluşlar ulanylýar. Olara polat ýa-da farfor trubkalar, ýaýradyjylar, pürkujiler we b. goýlan polat plitalar degişli

Oleum absorberiň ölçegleri we suwarmak üçin berilýän oleumyň mukdary kükürt kislotasy sehiniň öndürijiligine bagly. Hemişe 1 t/sag önüm üçin goýumdaky gazyň tizligi 1 m/s-a we oleum absorberiň kesiminiň suwarma dykzlygy 10-12 m³/m² bolanda, absorberdäki goýumyň üsti 600-den 1000 m²-a çenli talap edilýär.



45-nji surat. Oleum absorberi:

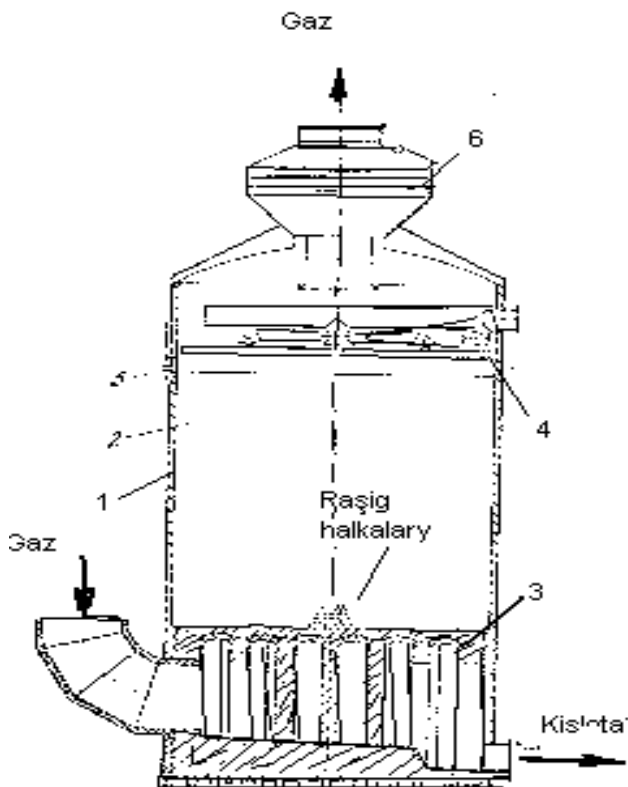
1 - polat silindr; 2 – gözenek; 3 – goýum; 4 – oleumy pürküji; 5 – goýumy ýüklemek we çykarmak üçin laz; 6 – görmek üçin aýna.

Monogidrat absorberi – gurluşy boýunça guradyjy başnýa meňzeş. Ol 98,3 %-li H_2SO_4 -y bilen suwarylýar. Absorberde kislota SO_3 -ni ýuwudýar we onuň konsentrasiýasy ýokarlanýar.

Monogidratyň ýygnaýjysynda kislota suw ýa-da guradyjy kislota bilen başlangyç konsentrasiýa çenli suwuklandyrylýar we sowadyjy arkaly täzedan monogidrat

absorberi suwarmak üçin berilýär; suwarylma dykzlygy $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{sag})$ deň bolýar.

Käbir desgalarda oleum absorberi monogidrat absorbere birikdirilen. Bu ýagdaýda angidrid sowadyjydan soň gaz iki akyma bölünýär, olaryň biri göniden-göni monogidrat absorbere berilýär, ikinjisi ilki başda oleum absorbere, ondan soň bolsa monogidrat absorbere berilýär. Şonuň ýaly shema diňe oleum çykarmak zerur bolan ýagdaýynda oleum absorberi işe girizmek üçin mümkinçilik berýär.



46-njy surat. Monogidrat absorberi:

- 1 – başnyanyň polat korpusy; 2 – futerowka; 3 – gözenek; 4 – ýaýradyjy plita; 5 – goýumy ýüklemek we çykarmak üçin laz; 6 – filtr.

Kislota garyjy. Konsentrlenen kislota (oleuma ýa-da monogidrata) suw goşulyp islendik konsentراسیýaly kislota alyp bolýar.

Konsentrlenen kükürt kislotasý suw bilen garylanda köp mukdarda ýylylyk bölünip çykýar, buglaryň güýçli bölünip çykmagy we erginiň gapdan zyňylp çykmagy mümkin. Şonuň üçin hem kislotaý ýörite apparatlarda, ýagny garyjylarda degişli seresaplylyk çäreleri berjaý etmek bilen suw bilen garyrlar.

Pes konsentراسیýaly kislotaý taýýarlamak üçin garyjylar kislota durnukly materialdan, konsentrlenen kislotaý taýýarlamak üçin çoýundan ýasalýar.

Tehniki kontakt kislotasý görnüşinde harytlyk kislota çykarylanda hemişe ony guradyjy başnyadan çykarýrlar. Onuň üçin, guradyjy başnyalaryň birinde kislotaýň kontakt tehniki kükürt kislotaýnyň standart talaplaryna laýyk gelýän konsentراسیýasyny saklaýrlar we ol ýygnanandan soň ýygnaýjydan ammara geçirilýär.

Şonuň ýaly ýagdaýlarda absorpsion bölümde (suwuklandyrylýan ýerde) oleum çykarylanda bölünip çykýan ýylylyk bilen deňeşdirilende köp ýylylyk bölünip çykýar, sebäbi monogidraty suw bilen suwuklandyrmaly bolýar.

8.2.2. Guradyjy-absorpsion bölümüň material balansy

Başlangyç maglumatlar:

Zawodyň öndürililigi, t/sag	
H_2SO_4	10
Öwrülme derejesi, x	0,98
SO_3 -ň ýuwdulyşynyň dolulygy	
Oleum absorberde	0,5
Umumy, z	0,9995
Konsentراسیýa	

Oleum absorberi suwarýan oleum $C_0, \%$ SO_3 (erkin)	20 [85,3 % SO_3 (um.)]
Monogidrat $C_m, \%$ H_2SO_4	98 [80 % SO_3 (um.)]
Guradyjy başnýa $C_p, \%$ H_2SO_4	93
Ýakylýan gazyň harçlanyşy, m^3/sag	26820
Şol sanda:	
SO_2	2350
O_2	2220
N_2	21 460
Suw buglary	660
SO_3	130
Barometrik basyş P, Pa	$1,01 \cdot 10^5$
Guradyjy başnýadan öňki pes basyş P_p, Pa	$2,9 \cdot 10^3$
Guradyjy başnýadan çykýan gazyň temperaturasy, $^{\circ}C$	32
Şol gazda suw bugunyň basyşy p_{H_2O}, Pa	$4,75 \cdot 10^3$
Howa bilen suwuklandyrylandan we guradylandan soň gazda SO_2 -ň saklanyşy $a, \%$	
	7

Guradyjy başnýadan öň gazdaky kükürt dioksidiniň konsentrasiýasy $20^{\circ}C$ temperaturada 50 %-e çenli suw bugy bilen doýgunlaşdyrylan howanyň goşulmagy bilen 7 %-e çenli peselýär. Ýakylýan gazyň ýuwujy başňalarda suwuklanan kükürt kislotasy bilen we ondan soň çyglandyryjy başnýada suw bilen ýuwulmagy netijesinde suw bugy bilen doly doýgunlaşýar.

Kontakt bölüme berilýän gazyň umymy mukdaryny tapýarys:

$$V_{\text{kont.}} = \frac{V_{SO_2}}{a} = \frac{2350}{0,07} = 33660 \text{ m}^3/\text{sag}$$

Goşulýan howanyň mukdaryny tapawudy boýunça tapýarys:

$$33\,660 - (2350 + 2220 + 21460) = 7630 \text{ m}^3/\text{sag}$$

Bu howada saklanýar (m^3/sag):

$$\text{Kislorod} \quad 7630 \cdot 0,21 = 1600$$

$$\text{Azot} \quad 7630 - 1600 = 6030$$

Berilýän howada suw bugunyň mukdary (20°C -da doýgun suw bugunyň basyşy $2,34 \cdot 10^3 \text{ Pa}$):

$$V_{H_2O} = \frac{7630 \cdot 2,34 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{1,01 \cdot 10^5 \cdot 2,34 \cdot 10^3 \cdot 0,5} = 88 \text{ m}^3/\text{sag}$$

Öl elektrofiltirlerden soň gazda suw bugunyň saklanyşy:

$$V_{H_2O} = \frac{(V_2' - V_{H_2O}' - V_{SO_3}') \cdot p_{H_2O}}{P - p_p - p_{H_2O}}$$

$$V_{H_2O} = \frac{(26820 - 660 - 130)4,75 \cdot 10^3}{1,01 \cdot 10^5 - 2,9 \cdot 10^3 - 4,75 \cdot 10^3} = 1520 \text{ m}^3/\text{sag}$$

Şeýlelikde, guradyjy başnyadan öň gazyny düzümindäki kislorodyň, azotyň we suw buglarynyň umumy mukdary (m^3/sag):

$$V_{O_2} = 2220 + 1600 = 3820$$

$$V_{N_2} = 21\,460 + 6030 = 27\,490$$

$$V_{H_2O} = 1520 + 88 + 1608 \quad (\partial_{H_2O} = 1286 \text{ kg/sag})$$

Suwy baglanyşdyrmak üçin guradyjy başnyanyň ýygnaýjysyna berilýän monogidratyň Y_c mukdaryny kükürt kislotasynyň balansyndan tapýarys:

$$C_m \cdot Y_c = C_n(Y_c + \partial_{H_2O})$$

$$98 Y_c = 93(Y_c + 1286)$$

bu ýerden $Y_c = 23920 \text{ kg/sag}$

Kontakt bölüminde emele gelen kükürt angidridiniň mukdary:

$$V_{SO_3} = V_{SO_2} \cdot x = 2350 \cdot 0,98 = 2304 \text{ kg/sag}$$

$$\frac{2304 \cdot 80}{22,4} = 8240 \text{ kg/sag}$$

Oleuma hasaplananda:

$$\frac{8240}{0,853} = 9660$$

Taýýar önümde SO_3 -ň mukdary :

$$\partial_{SO_3} = 10\,000 \cdot 0,816 = 8160 \text{ kg/sag}$$

Balansda tapawudyň takmynan 1 % bolmagy ($8240 - 8160 = 80 \text{ kg}$) kükürt kislotasynyň absorbsion bölümde we amnardaky ýitgisini düzýär.

Absorbirlenýän SO_3 -ň mukdary (kg/sag):

$$\text{Oleum absorberde} \quad 8240 \cdot 0,5 = 4120$$

$$\text{Monogidrat absorberde} \quad 8240 \cdot 0,499 = 4120$$

SO_3 -i baglanyşdyrmak üçin oleum absorberiň ýygnaýjysyna berilýän monogidratyň Y_m mukdary:

$$0,8 Y_m + 4120 = 0,853 (Y_m + 4120)$$

bu ýerden $Y_m = 11434 \text{ kg/sag}$.

Oleum absorberinde emele gelýän oleumyň mukdary monogidrat bilen SO_3 -ň mukdaryna deň :

$$Q_o = 4120 + 11\,434 = 15\,554 \text{ kg/sag}$$

Emele gelen oleumyň bir bölegi ammara (9660 kg) geçirilýär, monogidrat absorberiň ýygnaýjysyndaky galyndy bolsa $15554 - 9660 = 5894 \text{ kg/sag}$ barabar bolýar.

Monogidrat absorberiň ýygnaýjysyna goşulýan suwuň mukdary monogidrat absorberiň ýygnaýjysyndaky kükürt angidridiň balansynyň deňlemesi boýunça tapylýar:

$$5894 \cdot 0,853 + 4112 = 0,8 \cdot (5894 + 4112 + \partial_{H_2O})$$

Bu ýerden, $\partial_{H_2O} = 142 \text{ kg/sag}$

Emele gelýän monogidratyň mukdary:

$$5894 + 4120 + 142 = 10\,756 \text{ kg/sag}$$

Guradyjy-absorbsion bölümiň material balansy we gazyň düzümi we mukdary tablisada görkezilen.

8-nji tablisa

Guradyjy-absorbsion bölümiň material balansy

Girýär	Mukdary, kg/sag	Çykýar	Mukdary, kg/sag
1	2	3	4
G u r a d y j y b a ş n ý a			
Gaz bilen suw Monogidrat	1286 23920	Guradyjy başnýa	25206
Jemi:	25206	Jemi:	25206

1	2	3	4
O l e u m a b s o r b e r i			
Kükürt angidridi Monogidrat	4120 11434	Oleum ammara Oleum monogidrat absorberiň ammaryna	9660 5894
Jemi:	15554	Jemi:	15554
M o n o g i d r a t a b s o r b e r i			
Kükürt angidridi Guradyjy başnýa Oleum Goşulýan suw	4112 25206 5894 142	Monogidrat monogidrat absorberiň ýygnaýjysyna Monogidrat guradyjy başnýanyň ýygnaýjysyna	11434 23920
Jemi:	35354	Jemi:	35354
U m u m y b a l a n s			
Gaz bilen suw Goşulýan suw Kükürt angidridi	1286 142 8232	Ammardaky oleum	9660
Jemi:	9660	Jemi:	9660

9-njy tablisa

Kontakt sistemanyň dürli uçastoklarynda gaz akymalarynyň düzümi

Uçastok	Gazyň düzümi, m ³ /sag.				
	SO ₂	SO ₃	O ₂	N ₂	H ₂ O
Peçden soň	2350	130	2220	21460	660
Öl elektrofiltrlerden soň	2350	-	2220	21460	1520
Kontakt bölüminden öň	2350	-	3820	27464	-
Kontakt bölüminden soň	48	2302	2666	27464	-
Çykýan gazlar					
m ³ /sag	48	2,4	2666	27464	-
g/m ³	4,5	0,28	-	-	-

8.2.3. Zyňylýan gazlary zyýansyzlandyrmak

Öwrülme derejesi 0,98 we absorbsiýanyň dolulygy 99,9 % bolanda, kükürt kislotasy sistemasynyň çykýan gazlarynda

0,15 % SO₂ (4 g/m³) we 0,007 % (0,3 g/m³) SO₃ töweregi saklanýar, şeýle hem absorberden çykýan kükürt kislotasynyň syçramalarynyň käbir mukdary saklanýar. Syçramalar bölünip alnandan soň SO₂ we SO₃ saklaýan çykýan gazlar turba arkaly atmosfera çykarylyp bilner, onuň beýikligini takmynan şu empiriki formula boýunça hasaplaýarlar:

$$H = \sqrt{\frac{AMF_m}{(\zeta REK - c\varphi)\sqrt{\Delta T / N}}}$$

bu ýerde H - turbanyň minimal rugsat berilýän beýikligi, m; A - meteorologik şertleri hasaba alýan koeffisiýent, (120-den 200-e çenli üýtgeýär); M - atmosfera zyňylýan zyýanly maddalaryň mukdary, g/s; F - goşundylaryň çöküşini hasaba alýan koeffisiýent (gaz goşundylary üçin F=1, tozan üçin F=2); m – gaz howa garyndysynyň atmosfera çykyşynyň şertlerini hasaba alýan koeffisiýent, (0,8-den 1,2-ä çenli üýtgeýär); ÇREK - howanyň ýere golaý gatlagynda zyýanly maddalaryň çäkli rugsat edilýän konsentrasiýasy, mg/m³; c_φ - atmosfera fonunyň hapalanmagyny hasaba alýan koeffisiýent; N - golaý ýerleşdirilen turbalaryň sany; V - ähli turbalardan çykýan gazlaryň umumy göwrümi, m³/s; ΔT - çykýan gazlar bilen töweregi gurşaýan temperaturanyň tapawudy, °C.

Eger A=160, F=1, m=1, c_φ=0, N=1 we V - bir turbadan çykýan gazyň göwrümini (m³/s) kabul etsek, onda ýokardaky deňleme ýönekeýleşýär:

$$H = 12,5 \sqrt{\frac{M}{\zeta REK \sqrt[3]{V\Delta T}}}$$

Eger formula boýunça hasaplanyp çykarylan turbanyň beýikligi çakdan aşa uly bolsa, onda çykýan gazlary atmosfera zyňlalmazyndan öň arassalaýarlar.

Gazdan kislotanyň syçramalaryny bölüp almak üçin absorberlerden soň damja tutujylar ýa-da dürli görnüşli filtrler goýulýar.

Zyňylýan gazlary SO_2 -den arassalamaklyk soda bilen suwarylýan goýumly başňalarda amala aşyrylýar. Hemişe şonuň ýaly başňalaryň 2-si yzygider goýulýar. Olaryň aýratyn ýygnaýjylary we suwuklygy geçirmek üçin nasoslary bolýar. Ýuwdujy ergin NaHSO_3 -ň talap edilýän konsentrasiýasyna ýetilýänçä aýlaw edýär. Şondan soň ergin natriý bisulfitini bölüp almak üçin siklden çykarylýar, ýygnaýjy bolsa täze ýuwdujy ergin bilen doldurylýar.

Kükürt angidridi zyňylýan gazlarda ümür emele getirýär, ol bisulfit başňalarda kyn tutulýar, şonuň üçin hem gazlar ilki bilen öl elektrofiltirlere ugradylýar. Bisulfit başňalarda we elektrofiltirlerde gazdan H_2SO_4 -ň syçramalary bölünip çykýar.

Käwagtlar absorbent hökmünde ammiagyň suwly ergini (ammiakly suw) ulanylýar, şonda önüm hökmünde ammoniý sulfaty alynýar.

Zyňylýan gazlary absorbent bilen kislotakatalitiki usul boýunça arassalamak üçin 0,3 % marganes oksidini saklaýan 20-30 %-li kükürt kislotasy ulanylýar. Kükürt dioksidi gazdan kükürt kislotasynyň ergini bilen ýuwdulýan kislorod bilen okislenýär. Ergindäki marganes ionlary katalizatoryň funksiýasyny ýerine ýetirýärler we SO_2 -niň ýuwdulmagyna ýardam berýär (şonda üç walentli marganes iki walentli margansa çenli gaýtarylýar).

Ozonkatalitiki usulyň aýratynlygy: bu usulda SO_2 -niň okislenmegi gazdan ýuwdulýan kislorod bilen okislenmän, ozon bilen hem okislenýär, ol gazyň düzümine 0,002-0,005 göwr.% mukdarda goşulýar. Gaz faza ozonyň goýberilmegi SO_2 -niň okislenme reaksiýasyny intensifirleýär, şonuň üçin hem prosesiniň zerur bolan tizligi we SO_2 -niň ýuwdulmagynyň derejesi ergindäki marganes ionlarynyň konsentrasiýasy pes (0,1 %) bolanda we absorbsiýa üsti kiçi bolanda ýetilýär.

Alynýan kislotanyň konsentrasiýasy 40-50 %-e çenli ýokarlanyp bilýär.

8.2.4. 100 %-li we stabilizirlenen SO₃-niň alnyşy

100 %-li kükürt angidridiniň himiki işjeňligi ýokary bolýar we köp dürli tehnologik proseslerde kükürt kislotasynyň we oleumyň deregine giňden ulanylýar. Ony hemişe kontakt bölüminden gelýän gazyň ýylylygyny ulanmak bilen kontakt zawodyň absorbsion bölümünde aýlanýan oleumdan SO₃-i kowmak bilen aýarlar.

SO₃ saklaýan gyzgyn gaz kontakt bölümden ýylylyk-çalşygy-bugardyjy apparatyň tubalarynyň arasyndaky giňişlige berilýär, onuň turbalaryndan öňünden 20 °C-a çenli ýylylyk çalşygyda gyzdyrylan oleum geçýär. Sowadylan gaz kontakt sistemanyň adaty shemasy boýunça absorbsiýa ugradylýar.

Bugardyjydan çykýan az mukdarda SO₃ saklaýan gyzgyn oleum ýylylyk çalşygy ugradylýar, ol ýerde absorbsion bölümden gelýän oleuma ýylylygyny berýär, bu ýerde täzedan SO₃ bilen başdaky konsentrasiýa çenli doýgunlaşýar. Oleum gyzdyrylanda bölünip çykýan gaz halyndaky SO₃ kondensatora berilýär, ol ýerden suwuk SO₃ ýygnaýja berilýär. Ýygnaýjy suwly rubaška bilen üpjün edilen, oňa rezerwuardan 30-40 °C-a çenli ýiti bug bilen gyzdyrylan suw berilýär. Munuň özi SO₃-ň doňmagyny we kristallaşmagynyň önüni alýar. Tehniki kristalliki kükürt angidridi gyzdyrylanda ol eremän, göni gaz halyna geçýär.

100 % kükürt angidridi otag temperaturasynda (16,8 °C) kristallaşýar, şonuň üçin ony almaklyk we daşamaklyk uly kynçylyklar bilen baglanyşykly. Käwagt onuň ýerine 65 % SO₃ (erkin) saklaýan ýokary konsentrirlenen oleum ulanylýar. Şonuň ýaly oleumyň kristallaşma temperaturasy 0 °C-dan pes. Bu oleum tehniki oleumyň gaz halyndaky 100 %-li SO₃ bilen doýgunaşdyrylmagy bilen alynýar.

Adaty şertlerde tehniki SO_3 kristallaşandan soň öz-özünden polimerleşýär. Ondan soň SO_3 -i atmosfera basyşda suwuk ýagdaýa geçirmeklik mümkin däl, sebäbi SO_3 kowulýar. Bu bolsa gaty SO_3 -i ulanmaklygy kynlaşdyrýar, sebäbi ony dozalaşdyrmak we daşamak mümkinçiligi bolanok.

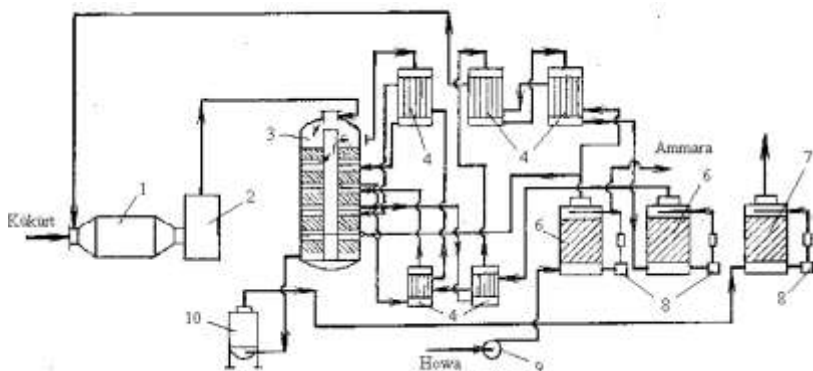
Kükürt angidridini goňma temperaturasyndan pes temperaturada suwuk ýagdaýda saklamak üçin we şeýlelikde onuň polimerizasiýasynyň önüni almak üçin SO_3 -e stabilizatorlar (B_2O_5 , Na_2SO_4 , KCrO_3 we b.) goşulýar. Ýöne stabilizirleýji goşundylar SO_3 -ň polimerizasiýasyny aradan aýyrman, diňe haýalladýar, aýratyn hem otirisatel temperaturada. Sowadylan ýagdaýda stabilizirlenen SO_3 uzak waglap (birnäçe aý) polimerleşenok.

9. KÜKÜRTDEN WE BEÝLEKI ÇIG MALLARDAN KONTAKT USULY BOÝUNÇA KÜKÜRT KISLOTASYNYŇ ALNYŞY

9.1. Kükürtden kükürt kislotasynyň alnyşy

Öndürijiligi gije-gündizde 1500 t bolan tebigy kükürtden ikileýin kontaktirleme usuly boýunça kükürt kislotasynyň alnyşy 47-nji suratda görkezilýär. Kükürt erediji-bunkere berilýär, onuň düýbi polat turbalardan gözenek görnüşinde ýasalan, şol turbalar arkaly suw bugy geçýär. Gözenekde kükürt ereýär we çökdürijä akyp geçýär, ol ýerde suwuk kükürtdäki asylan görnüşli goşundylar çökýär. Ondan soň kükürt nasos bilen ýygnaýja berilýär, ol ýerden bolsa ikillenji gezek süzülenden soň pejiň forsunkalaryna ugradylýar. Ýakmak üçin zerur bolan howa guradyjy başnyadan (5) we ýylylyk çalşyjdandan (4) geçýär we peje (1), ondan soň bolsa kontakt apparata (3) berilýär. Kükürdi ýakmak üçin peç futerowkaly silindrik apparat bolup, onuň dowamy kotýol-utilizator (2) bolup durýar.

Peçde emele gelen gaz garyndysy kotýol-utilizatorada 400-420 °C-a çenli sowadylýar we 5 gatlakly kontakt apparatyň 1-nji gatlagyna berilýär. 1-nji gatlakdan soň gaz ýylylyk çalşyjdandan (4) geçýär, bu ýerde sowadylýar we kontakt massanyň ikinji gatlagyna berilýär; ondan çykýan gaz ýylylyk çalşyjyda (4) sowadylýar we kontakt massanyň 3-nji galagyna berilýär. 3-nji gatlakdan soň gaz täzeden ýylylyk çalşyjyda (4) sowadylýar we absorbere (6) berilýär. Ondan soň sowadylan gaz ýylylyk çalşyjdandan (4) geçýär we kontakt massanyň 4-nji gatlagyna berilýär. 4-nji gatlakdan soň gazy sowatmaklyk sowuk gury howany üfleme arkaly amala aşyrylýar. 5-nji gatlakdan soň gaz ангидрид sowadyjyda (10) sowadylýar, monogidrat absorberden (7) geçip, atmosfera zyňylýar.



47-nji surat. Kükürtden kükürt kislotasynyň alnyşynyň shemasy.

1 – kükürt ýakylýan peç; 2 – kotýol; 3 – kontakt apparat; 4 – ýylylyk çalşyýjy; 5 – guradyjy başnýa; 6,7 – monogidrat absorberler; 8 – sowadyjy; 9 – howa üfleýji; 10 – ekonomazyzer.

Suratdan görnüşi ýaly gysyýjy (ýygnaýjy) tehnologi shemanyň başynda ýerleşär we şeýlelikde, ähli apparatura basyş astynda bolýar. Munuň özi apparaturada näsazlyk (jebis bolmasa) ýüze çykanda howanyň sorulmagynyň we gazyň suwuklanmagynyň mümkinçiligini aradan aýyrýar. Emma, peç bölüminiň iş şertleri apparatura aýratyn montažyň we hyzmat etmekligiň talap edilýänligi bilen çylşyrymlaşýar.

Synaglaryň görkezmegine görä, kükürt kislotasyndan kükürdi almagyň tehnologi shemasy desgalaryň durnukly işleýşini iki ýyldan gowrak wagty üpjün edýär. Emma, kükürdiň süzülmegine garamazdan, onda käbir mukdarda gaty goşundylar galýar, olar ýakylýan gazlar bilen gelip kontakt massanyň birinji gatlagynyň in ýokarky böleginde çökýärler. Öndürijiligi gije-gündizde 1500 t bolan kükürt kislotasynyň desgasy üçin we peçden soň gazdaky tozanyň mukdary 0,017 kg/t bolanda tozanyň (1-nji gatlagyň ýokarsynda çökýän) mukdary gije- gündizde 25 kg ýa-da ýylda 8 tonna bolýar. Onuň netijesinde kontakt massanyň 1-nji gatlagynyň gidrawliki garşylygy ep-esli ýokarlanýar, şonda gysyp ýygnaýjy bilen berilýän gazyň göwrümi azalýar we şoňa laýyklykda hem

kontakt apparatyň öndürijiligi peselýär. Şonuň üçin her 10-12 aýdan kontakt massanyň 1-nji gatlagyny ýüklemek üçin önümçiligi 8-12 iş günleri duruzýarlar.

Bu meseläniň çözülmegi üçin iki ýol bar: filtrasiýa (süzmek) prosesinde kükürdiň arassalanyşyny gowulandyrmaly ýa-da kontakt apparatdan öň gazdaky tozanyň bölejiklerini bölüp aýyrmaly. Kükürdiň filtrasiýasy – ýeterlik gymmat durýan operasiýa, şonuň üçin, senagatda dürli görnüşli gaz filtrleri ulanýarlar, emma olar örän uly we gazyň ýokary arassalanýş derejesini üpjün edenoklar.

Tebigy gaz şeýle hem kerosiniň goşundylaryny (flotoreagentiň galyndylary) we bitумы saklaýarlar, olar peçde ýanyp suw buglaryny emele getirýärler. Goşundylar köp mukdarda saklanýan bolsa, emele gelýän buglaryň mukdary (guradylandan soň howada galýan çyg hasaba alnanda) gazyň rugsat berilýän çyglylygyndan (0,01 %) ýokary geçýär. Bu bolsa absorpsion bölümde kükürt kislotasynyň ümüriniň emele gelmegine we çykýan gazlar bilen kislotanyň ümür görnüşinde ýitgisiniň köp bolmagyna getirýär.

Ümüriň emele gelmegini azaltmak üçin SO_3 -iň absorpsiyasyny konsentirlenen kükürt kislotasy (98,6 % H_2SO_4) bilen suwarylýan monogidrat absorberlerde geçirýärler. Ol absorbere girýän ýerinde 80 - 90 °C temperaturada we ondan çykýan ýerinde 110 - 120 °C-da (gyzgyn režim) amala aşyrylýar. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kükürt kislotasynyň doýgunlaşmasy peselýär we ümür emele gelenok (ýa-da onuň mukdary ep-esli azalýar).

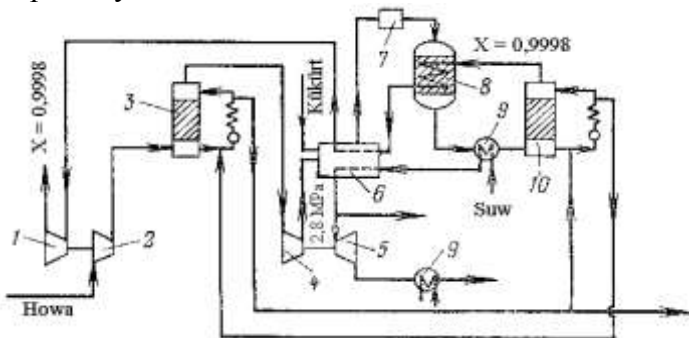
Kükürtden alynýan kükürt kislotasynyň önümçiliginde basyşyň ulanylyşy

SO_2 -niň okislenme reaksiýasy göwrüminiň azalmagy bilen geçýär, şonuň üçin, Le-Şateliýe prinsipine laýyklykda bu reaksiýanyň tizligi basyşyň ýokarlanmagy bilen artýar. Onan başga-da, basyş ýokarlandyrylanda deňagramly öwrülme

derejesi ýokarlanýar, esasy apparatyň intensiwligi proporsional köpeliýär.

Öndürijiligi gije-gündizde 575 tonna bolan 0,5 MPa basyş astynda işleýän kükürtden kükürt kislotasyny almak üçin senagat desgasy birinji gezek 1972-nji ýylda Fransiýada işe girizilýär. Proses kükürtden kükürt kislotasyny almagyň adaty shemasy boýunça işledilýär. Bu desgada gowy netijeler gazanylýar: kontakt massanyň harçlanyşy bar bolan desgalarydakydan 3 esse az, SO_2 -niň SO_3 -e öwürülme derejesi bolsa 0,9985-e ýetýär. Desga özünü energiýa bilen doly üpjün edipdir we goşmaça önüm hökmünde energetiki bugy beripdir.

48-nji suratda has ýokary basyşda kükürtden kükürt kislotasyny almagyň önümçilik shemasy görkezilen. Atmosfera howasy 0,78 MPa basyş astynda guradyjy başny (3) berilýär, ol absorberden (10) berilýän kükürt kislotasy bilen monogidratyň goşulmagy bilen suwarylýar. Howanyň guradylma prosesinde bir wagtda bu kislotadan SO_2 -niň desorbsiýasy bolup geçýär. SO_2 -den saplanan kislota absorberiň (10) suwaryan sikline berilýär. Guradyjy başnydan soň howanyň basyşy kompressor (4) bilen 2,8 MPa çenli artdyrylýar we howa kükürt pejine berilýär, ol ýerde suwuk kükürt pürkülýär.



48-nji surat. 2,8 MPa basyş astynda işleýän kükürt kislotasynyň önümçilik shemasy:

1,5 – turbina; 2, 4 – kompressorlar; 3 – guradyjy başny; 6 – kükürt peji;
7 – gaz filtri; 8 – kontakt apparat; 9 – ýylylyk çalşyjylar; 10 – absorber.

Peçden soň 10 % töweregi SO_2 saklaýan gaz filtrden (7) geçýär we kontakt apparata (8) berilýär, ol ýerde wanadiý katalizatorynda SO_2 -niň okislenme prosesi amala aşyrylýar. Kontakt apparatdan çykýan ýerinde gaz ýylylyk çalşyjyda (9) sowadylýar we absorbere (10) berilýär, absorber monogidrat bilen suwarylýar, oňa guradyjy başnydan çykýan kislotanyň bir bölegi goşulýar. Suwaryan kislota diňe bir SO_2 -ni absorbirlemän, kontakt apparatda okislenmän galan SO_2 -ni hem absorbirleýär we umumy öwrülme derejesini ýokarlandyrýar.

Kompressora (2) turbina (1) birikdirilen, oňa kontakt apparatyň ýylylyk çalşyjylarynda we kükürt pejinde (6) ýerleşdirilen ýylylyk çalşyjylarda gyzdyrylan absorberden (10) çykýan gazlar berilýär. Kompressor (4) bugly turbina (5) bilen aýlawda getirilýär (bugly kotýolda (9) bug alynýar, soňra ol kükürt pejinde (6) gyzdyrylýar we turbina berilýär).

Beýan edilen shemanyň wajyp aýratynlygy – katalizatorda SO_2 -ni okislenme prosesiniň ýokary basyşda (2,8 MPa) geçirilmegidir, ol absorberde SO_2 -niň kükürt kislotasy bilen ýuwdulma derejesiniň ýokary bolmagyny, ondan soň onuň guradyjy başnyda has pes basyşda üflenilmegini (0,78 MPa) üpjün edýär. Gaz soňra prosese gaýtarylýar, şoňa baglylykda öwrülme derejesi kontakt apparatdan soň 0,997, absorbsiýadan soň bolsa 0,9998-e çenli ýokarlanýar.

Shemanyň artykmaçlyklarynyň biri hem energetiki buguň alynmagy we onuň goşmaça apparaturany işletmek üçin ulanylmagydyr.

9.2. Öl kataliz usuly boýunça kükürtwodoroddan kükürt kislotasynyň alnyşy

Öl kataliz usulynda kükürtwodorod ýakylanda alnan gaz suwuň buglarynyň ep-esli mukdary bilen bilelikde wanadiý katalizatorynda kükürt angidridine okislenýär. Soňra gaz garyndysy kondensatorda sowadylýar, bu ýerde emele gelýän

kükürt kislotasynyň buglary kondensirlenýär. Bu usulda SO₂-ni okislemeklik suw buglarynyň gatnaşmagynda geçýär, şonuň üçin hem oňa *öl kataliz* usuly diýilýär. Bu proses häzirki wagtda dünýäniň köp ýurtlarynda ulanylýar. Aýratyn-da bu usul käbir önümçilikleriň zyňyndylary bolan kükürtwodoroddan kükürt kislotasyny almak üçin amatly. Bölünip alynýan kükürtwodorody gowy edip ýuwyarlar, şonuň üçin hem öňünden goşmaça arassalamaklyk talap edilenok, ol bolsa kükürt kislotasynyň önümçilik prosesini ýönekeýleşdirýär.

Şeýlelikde, öl kataliz usuly üç stadiýadan ybarat: kükürtwodorody ýakmak, emele gelen kükürt dioksidini katalizatorada okislemek we kükürt kislotasyny bölüp almak.

Ýanýan gazlar arassalanylanda konsentrirlenen kükürtwodorod gazy (90 %-li H₂S) alynýar, şonuň üçin kükürtwodorod ýakylýan peçde köp ýylylyk bölünip çykýar. Şonuň bilen baglylykda H₂S ýakylanda peçe köp artykmaç howa berilýär ýa-da onda bugly gazan - utilizatoryň ýylan görnüşli turbalary ýerleşdirilýär. Öl kataliz prosesinde SO₂-ni okislemek stadiýasy takmynan kolçedan ulanylýan shemadaky okislenme satdiýasyna meňzeşdir. Temperaturany peseltmek üçin kontakt massanyň gatlagyndan çykýan gaz garyndysyna hemişe guradylmadyk atmosfera howa goşulýar. Gazda öňden suwuň buglary bolansoň, olar kataliz prosesine täsir edenoklar.

Şonuň ýaly gaz sowadylanda reaksiýa boýunça kükürt kislotasy emele gelýär:

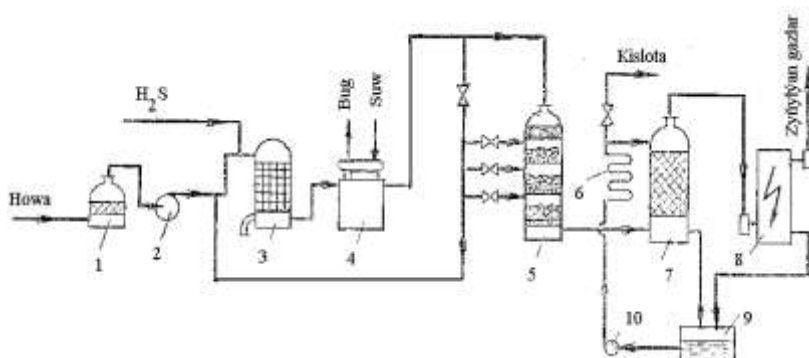


Konsentrirlenen kükürtwodorod gazyndan kükürt kislotasynyň alnyşy.

Kükürtwodorod howa bilen bilelikde wentilýatoryň (2) kömegi bilen ýakmak üçin peçe (3) berilýär (49-njy surat). Peçden çykýan gaz 1000 °C töwereginde bugly gazan-utilizatora (4) berilýär, ol ýerde gazyň ýylylygy bugy almak üçin ulanylýar. Sowadylan gaz 400-420 °C temperatura bilen

kontakt apparata (5) berilýär. Kontakt massanyň gatlaklaryndan çykýan gaza atmosfera howasy berilýär. Kontakt apparatdan çykýan gaz SO_3 bilen suw buglaryny saklaýar, ol halkaly goýum bilen doldurylan we kükürt kislotasy bilen suwarylýan başnýa-kondensatora (7) berilýär.

Minara girýän suwarýan kislotanyň temperaturasy $50 \div 60^\circ\text{C}$, ondan çykýan temperaturasy $80 \div 90^\circ\text{C}$. Gaz sowadylanda SO_3 bilen suw buglary kükürt kislotasynyň buglaryny emele getirýär, olar soňra kondensirlenýärler. Minarada (7) gazyň tiz wagtda sowamagy bolup geçýär, şonuň üçin hem kükürt kislotasynyň buglarynyň aşa doýgunlaşmasy ýüze çykýar. Buguň bir bölegi (35 %-e golaý) ümüri emele getirmek bilen göwrümde kondensirlenýär, olar soňra elektrofiltrde (8) bölünýärler. Minara-kondensator gurluşy boýunça guradyjy minara meňzeşdir.



49-njy surat. Ýokary konsentrasiýaly kükürtwodorod gazyndan kükürt kislotasynyň önümçiliginiň shemasy

- 1 – filtr; 2 – wentilýator; 3 – peç; 4 – bugly kotýol-utilizator; 5 – kontakt apparaty; 6 – sowadyjy; 7 – minara-kondensator; 8 – elektrofiltr; 9 – aýlawly ýygnaýjy; 10 – nasos.

9.3. Gipsden we fosfogipsden kükürt kislotasynyň alnyşy

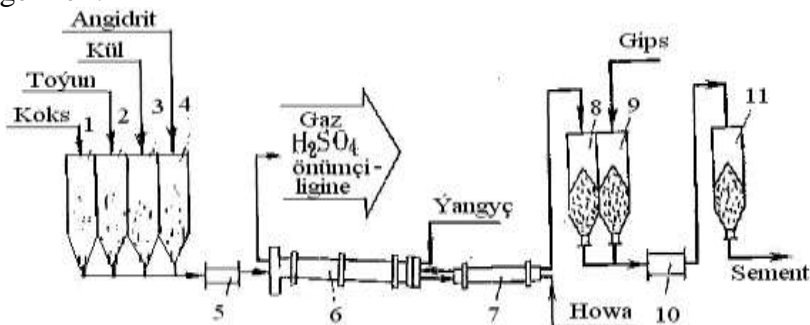
Kükürt kislotasynyň önümçiligi üçin kalsiý sulfatynyň birnäçe görnüşleri ulanylýar: anhidrit ýa-da suwsuz kalsiý

sulfaty CaSO_4 , gips ýa-da $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -nyň ikili duzy we fosfor dökünleriniň önümçiliginiň galyndylary bolan fosfogips, ýagny gipsiň fluor, fosfor birleşmeleri, SO_2 we gips ýuwlandan soň onda galýan beýleki goşundylaryň garyndysy.

Çig malyň bu görnüşini küküt kislotasyna takmynan şol bir tehnologiýa shema boýunça gaýtadan işlemek bolýar. (50-nji surat).

Owradylan angidrit, şeýle hem guradylan we ownuk görnüşe getirilen ogarok (kül, galyndy), toýun we koks deňişlilikde bunkerlere 1-4 berilýär, ol ýerden belli bir gatnaşykda transportyorlar arkaly şarly üweýjä (5) ugradylýar, ol ýerde goşmaça owradylýar we gowy garyşdyrylýar. Şihtanyň ýakylmagy gorizontall ýerleşdirilen peçde (6) amala aşyrylýar; bu ýere şeýle hem ýangyç we howa berilýär, olar peçden (6) çykýan klinkeriň (külüň) ýylylygynyň hasabyna sowadyjy barabanda (7) gyzdrylýar. Sowadylan klinker bunkere (8) berilýär we ondan gips bilen bilelikde bunkerden (9) şarly üweýjä (10) ugradylýar. Taýýar sement bunkerde (11) ýygnaýar.

Şihtany taýýarlamak we ýakmak angidritden kükürt kislotasyny almaklygyň önümçilik prosesiniň wajyp we gymmat stadiýalary bolup durýarlar. Ýakylanda emele gelen kül owradylandan soň hili boýunça çykarylýan semente laýyk gelmeli.



50-nji surat. Angidritden (gips) kükürt kislotasynyň önümçiliginde šihtanyň taýýarlanylyşy we ýakylyşy:

1-4, 8, 9, 10 – şarly üweýji; 6 – aýlanýan peç; 7 – sowadyjy baraban.

Şonuň bilen baglanyşyklylykda şihpanyň komponentlerini taýýarlamagyň energiýany köp talap edýän stadiýasy (owratmak, guratmak, garmak) we olaryň dozirowkasy, şeýle hem şihpany ýakmaklyk tehnologiiki režimiň kadalarynyň berk berjaý edilmegi bilen amala aşyrylýar.

1 tonna monogidrata esasy harçlanma koeffisiýentleri (t):

95 % CaSO_4 saklaýan gury angidrit	1,63
Toýun	0,27
Koks	0,13
Çäge	0,08
Kül	0,01
Gips	0,08

Angidrit ýakylanda emele gelen gaz kükürt kislotasyna adaty (klassiki) shema boýunça gaýtadan işlenilýär. Ol diňe ýuwujy bölümünde öl elektrofiltirleriň bir basgançagynyň goýlandygy, kontakt bölümde bolsa ýylylyk çalşyjylaryň üstüniň ýokarlanýanlygy bilen tapawutlanýarlar.

Goşmaça elektrofiltirleriň basgançagynyň goýulmaýanlygy ýakylýan gazda myşýagyň ýoklugy we örän az nukdarda SO_3 -ň saklanýanlygy bilen şertlendirilendir (ýakmaklygy kislorodyň ýetmezçiliginde geçirýärler), şonuň üçin, gazy sowatmak we ýuwmak stadiýalarynda köp bolmadyk mukdarda ümür emele gelýär.

Kontakt bölümde ýylylyk çalyşma üstüniň artdyrylmagy angidrit ýakylanda alynýan gazda SO_2 -niň konsentrasiýasynyň has pesligi bilen düşündirilýär.

Gipsi gaýtadan işlemeklik angidriti gaýtadan işlemek bilen deňeşdirilende has tygşytsyz, sebäbi birinji ýagdaýda $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dargadylanda bölünip çykýan suwy aýyrmak üçin goşmaça ýylylyk harçlanýar we alynýan gazda SO_2 -niň mukdary azalýar. Gaz kükürt kislotasyna gaýtadan işlenilende fitoruň goşundylarynyň bolmagy kynçylyklary döredýär (ol fosfogipsde ýeterlik mukdarda bardyr).

Fosfogipsiň takmynan düzümi 9 %-de, gury önüme hasaplananda:

	Nusga 1	nusga
CaO	40,70	37,20
SO ₂	53,80	49,60
SiO ₂	0,83	0,26
P ₂ O ₅	0,76	1,76
F	1,54	1,85
Dürli goşundylar	2,37	9,33
	100,0	100,00

9.4. Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasyny almagyň beýleki usullary

Soňky ýyllarda dünýäniň ähli ýurtlarynda, aýratyn-da ösüp gelýän ýurtlarda kükürt kislotasynyň önümçiligi ep-esli artdy, ol kükürt kislotasyny ulanýan senagat pudaklarynyň (mineral dökünleriň önümçiligi, himiýa, nebiti gaýtadan işleýän senagat, gara we reňkli metallurgiýa we b.) ösmegi bilen baglanyşykly.

Kükürt kislotasy önümçiliginde tehniki progresiň esasy ugurlary şular bolup durýar:

- tehnologiki liniýalaryň (sistemalaryň) birlik kuwwatlyklarynyň ösmegi;
- prinsipial täze effektiv tehnologiki sistemalaryň we olaryň apparaturasynyň işlenip düzülmegi, metalyň talap edijiligini we önümçilige energetiki harajatlaryň peselmegi, ýagny, material we energetiki sistemalaryň döredilmegi;
- atmosfera çykýan gazlar bilen zyýanly maddalaryň zyňylmagyny azaltmak – zyňyndysyz kükürt kislotasy sistemasyny döretmek.

9.4.1. Basyşyň we kislorodyň ulanylmagy bilen sistemalaryň işlenilip düzülişi

Kükürt kislotasy önümçiliginiň ähli stadiýalaryna ýokary basyşy ulanmaklyk kükürt kislotasy önümçiligini ösdürmegiň has perspektiw ugry bolup durýar, sebäbi şonda kükürt kislotasy sistemalarynyň tehnologiýa görkezijilerini gowulandyrmagyň şu aşakdaky položitel faktorlary üpjün edilýär:

- Le-Şateliýe prinsipine laýyklykda SO_2 bilen O_2 katalizator (reaksiýa gaz fazada göwrüminiň kiçelmegi bilen geçýär) özara täsirleşende SO_3 -iň çykymy ýokarlanýar. Çig malyň ulanylyş derejesi ýokarlanýar, zyýanly maddalaryň (SO_2) atmosfera zyňylmagy azalýar. Kükürt dioksidiniň konwersiýa derejesi 99,95 – 99,99 %-e ýetip bilýär. Kükürt kislotasynyň zyňyndysyz önümçiligini döretmegiň mümkinçiligi bolýar;
- Gaýtadan işlenilýän gazyň göwrümleri basyşa proporsional azalýar, ol bolsa apparatyň kiçi ölçegli kuwwatly sistemasyny döretmäge mümkinçilik berýär. Kuwwaty ýylda 700-750 müň tonna bolan apparatyň diametrleri 1,0-1,2 MPa basyşda 3,5-3,6 m-e deň bolýar (hemişe kuwwaty ýylda 450-500 müň tonna bolan sistemada kontakt apparatyň diametri 13 m, absorberleriňki bolsa – 8,5 m-e deň);
- Sistemanyň udel metal talap edişi 2,5-3,0 esse azalýar.
- Kuwwaty ýylda 700-750 müň tonna bolan 1,0-1,2 MPa basyş astynda işleýän kükürt kislotasy sistemasynyň ähli enjamlary doly ýasalyp, ýygnaýyp we synag edilip (maşyngurluşyk zawodlarynda) we ýygnaýan görnüşde montaj üçin gurluşyk meýdançasyna goýlup bilner, bu bolsa sistemanyň montajyny tizleşdirýär we arzanladýar.

9.4.2. Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginiň kämilleşdirilişi

Kükürt kislotasy önümçiliginiň tehnikasy kükürt kislotasy önümçiliginiň ykdysady görkezijilerini kesgitleýän esasy faktorlaryň biridir.

Islendik önümçiligiň effektiwliginiň ýokarlanmagyny üpjün edýän esasy faktorlar desgalaryň birlik kuwwatyny ýokarlandyrmakdyr. Emma kükürt kislotasy senagatynyň dünýä synaglary we ykdysady hasaplamalary desgalaryň kuwwatlygynyň ondan has ýokarlandyrylmagynyň effektiwliginiň pesligini görkezýär.

Senagat taýdan ösen ýurtlarda kükürt kislotasy önümçiliginiň ösmegine garamazdan desgalaryň birlik kuwwatlyklarynyň gije-gündizde 1500-2000 t saklanmagy hem şonuň bilen düşündirilýär.

Häzirki wagtda bu önümçiligi ösdürmegiň 2 ugry belenilýär. Olaryň biri basyş astynda amala aşyrmak. Ikinji ugry howanyň kislorod bilen çalşylmagyny we prosesi atmosfera ýa-da ýokary basyş astynda siklli shema boýunça amala aşyrmaklygy göz önünde tutýar.

Basyşyň ulanylmagy bu usulyň ýetmezçiligini aýyranok, ol ýetmezçilikleriň biri bolsa prosesde bölünip çykýan ýylylygyň (60 %-den ýokary däl) ulanylyş derejesiniň pesligidir. Galan ýylylyk ulanylanok, şeýle hem onuň prosesden çykarylmagyna energiýa köp harçlanýar: şonda hemişe pes ýylylyk geçirme koeffisiýentli uly suwaryjy sowadyjylar ulanylýar, ýylylygyň çykarylmagy bolsa az temperatura tapawudynda amala aşyrylýar.

Ýylylygyň ulanylyş derejesiniň pesligi şunuň bilen düşündirilýär. Kükürt kislotasynyň emele gelme buglarynyň we olaryň kondensasiýasy 200-400 °C temperatura interwalda yzygider ekzotermiki reaksiýalaryň geçmegi netijesinde bölünip çykýar. Bu ýylylygy ulanmak üçin gury gaz garyndysyna (bu usulda emele gelýän) suw buguny girizmek,

ondan soň gaz garyndysyny sowadyp kükürt kislotasyny kondensasiýa bilen bölüp almak zerurdyr.

Çykýan gazlary ýörite arassalamazdan atmosfera zyňyp bolaýjak ýeterlik ýokary kondensasiýa derejesini almaklygy üpjün etmeklik uly material harajatlar bilen baglanyşykly we ol praktikada ulanmak üçin teklipe edilip bilinmez. Şonuň üçin, kondensasiýany ulanmaklyk we energetiki buguň alynmagy bilen ýylylygyň ulanylyş derejesini ýokarlandyrmak mümkin däl.

Basyş astynda işledilende çykýan gazlaryň göwrümi edil bar bolan shemadaky ýaly ($2000 \text{ m}^3/\text{t}$ töweregi), şeýlelikde, zyýanly goşundylaryň atmosfera zyňylşy ýokary bolýar. Ondan başga-da, basyş astynda işleýän apparatura jebisligine we korroziýadan goramaklyga bolan gatnaşykda (aýratyn-da nasoslar, kislota sowadyjylar işledilende uly kynçylyklar bolmagy mümkin) ýokary talaplara laýyk gelmeli.

Kükürt kislotasynyň önümçiliginde kislorodyň ulanylmagy dürli görnüşli shemalar boýunça amala aşyrylyp bilner (51-nji surat).

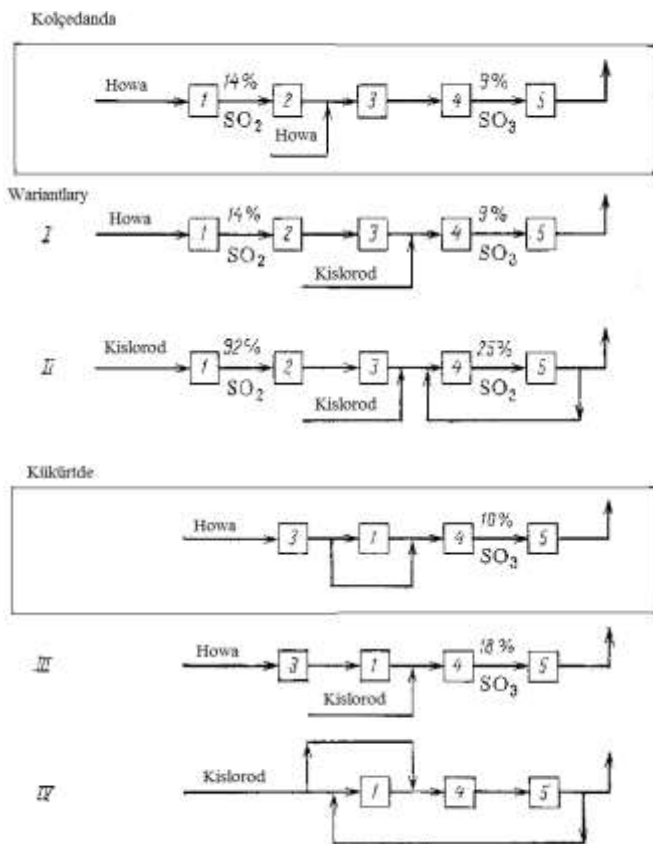
I wariant boýunça kükürt saklaýan çig maly howada ýakýarlar. Alnan konsentirlenen gaza (14 % SO_2) kontakt bölümde howanyň deregine tehnologiýa kislorod (95 % O_2) goşulýar.

Bu az effektiw, emma has ýönekeý wariant, onuň işe girizilmegi üçin ýörite barlaglar talap edilenok, diňe kislorodyň çeşmesi zerur bolup durýar. I wariant boýunça guradyjy, kontakt we absorbsion bölümlerde gazdaky SO_2 -niň konsentrasiýasyny 9 %-den 13 %-e çenli, ýagny 45 % ýokarlanmagy üpjün edilýär.

II wariantda howa çig mal ýakylanda, şeýle hem katalizatorlarda SO_2 -iň okislenme prosesinde kislorod bilen çalşylyp bilner. Bu wariant perspektiw, sebäbi ol kükürt kislotasynyň ýokary intensiwligini üpjün edýär.

Kislorodyň ulanylmagy bilen has ýokary effektiwligi üpjün etmek kükürt bilen işlenilende gazanylýar. Bu ýerde IV

wariant – siklli proses gyzyklanma bildirýär, onda himiki reaksiýalaryň ýylylygynyň doly ulanylmagy we ýokary effektiv energotehnologiki prosesiň döredilmeginiň mümkinçiligi bolýar.



51-nji surat. Kontakt kükürt kislotasynyň önümçiliginde kislorody ulanmagyň wariantlary:

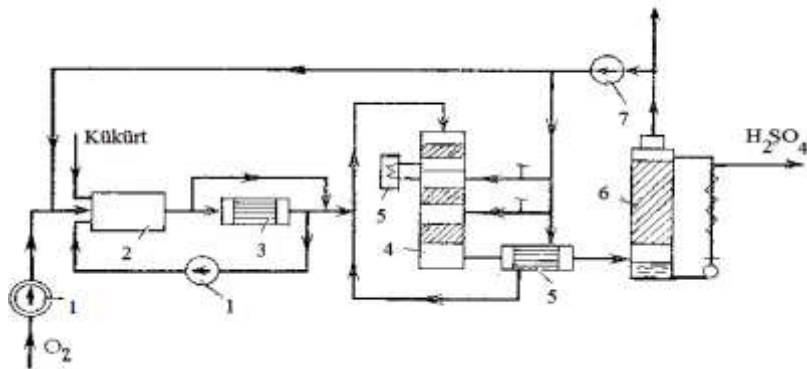
1 – peç bölümi; 2 – ýuwujy bölüm; 3 – guradyjy bölüm;
4 – kontakt bölümi; 5 – absorbsion bölüm.

Siklli shema amala aşyrylanda we apparatlaryň sany az bolanda prosesi basyş astynda geçirmeklik aňsatlaşýar. Sebäbi,

apparaturanyň intensiwligi ýokarlanýar, awtomatlaşdyrylan önümçiligi döretmegiň mümkinçiligi bolýar.

Kislorodyň ulanylmagy bilen kükürt kislotasynyň önümçiliginiň artykmaçlygynyň biri hem - çykýan gazlaryň göwrüminiň 40-50 esse azalmagy we zyýanly goşundylaryň atmosfera zyňylmagynyň azalmagydyr.

Howadan kislorodyň alynmagyna goşmaça energiýa harçlanýar. Emma, şonda goşmaça energetiki bugy almak bolýar. Şoňa meňzeş shema amala aşyrylanda sowadýan suwuň alynmagyna energiýanyň harçlanyşy azalýar, ol kislorody almak üçin harçlanýan energiýany kompensirleýär. Ondan başga-da, häzirki wagtda howadan kislorod alnanda ähli material we energetiki harajatlar diňe kisloroda degişli; şonuň bilen birlikde kislorod bilen bir wagtda 99 %-li azot (onuň göwrümi kislorodyň göwrüminden 4 esse köp), kripton, ksenon we howada saklanýan beýleki goşundylary alýarlar.



52-nji surat. Kükürtden we tehniki kisloroddan kükürt kislotasyny almagyň shemasy:

- 1 – kompressor; 2 – kükürdi ýakmak üçin peç; 3 – bugly gazan-utilizator;
- 4 – kontakt apparat; 5 – ýylylyk çalşyjylar; 6 – absorber;
- 7 – gysyp ýygnaýjy.

52-nji suratda kükürtden kükürt kislotasyny öndürmegiň siklli shemasynyň mümkin bolan wariantlarynyň biri görkezilen.

Kükürt pejine (2) tehniki kislород, şeýle hem eredilen we süzülen kükürt berilýär. Emele gelen gazy bigly gazan-utilizatorда (3) sowadyrlar we kontakt apparata 94) ugradýrlar. Bugly gazan-utilizatorдан soň gaz garyndysynyň bir bölegi kükürt pejine onuň temperaturasyny peseltmek üçin berilýär, ol peçden soň gazdaky SO₂-niň konsentrasiýasyny ýokarlandyrmaga mümkinçilik berýär. Gazy katalizatoryň her gatlagyndan soň sowatmak ýylylyk çalşyjyda (5), şeýle hem absorberden (6) soň garynda goşulýan sowuk gazyň kömegi bilen bolup geçýär. Kontakt apparatdan soň gaz ýylylyk çalşyjyda 95) sowadylýar we absorbere 96) ugradylýar, ondan soň gysyp ýygnaýjy bilen (7) sikle gaýtarylýar – peje (2) we kontakt massanyň gatlagyndan soň gazy sowatmak üçin kontakt apparata (4) ugradylýar.

Tehniki kislородда köp bolmadyk mukdarda inert gazlar bolup, olar siklde ýygnaýrlar, sirkulirlenýän gazyň bir bölegi siklden üznüksiz çykarylýar.

Görkezilen shema atmosfera, şeýle hem ýokary basyş astynda amala aşyrylyp bilner.

10. NITROZA USULY BOÝUNÇA KÜKÜRT KISLOTASYNYŇ ÖNÜMÇILIGI

10.1. Nitroza prosesiniň fiziki-himiki esaslary

Nitroza prosesinde SO_2 -niň okislenmegi kükürt kislotasynda erän azot oksidleriniň kömegi bilen geçýär, şonuň üçin ilki bilen azot oksidleriniň häsiýetlerine we olaryň kükürt kislotasy bilen absorbsiýasyna seredilmegi zerurdyr.

Azot oksidi NO – reňksiz gaz, ol atmosfera basyşda we – $151,8\text{ }^\circ\text{C}$ temperaturada reňksiz suwuklyga geçýär. Kislorod NO -ny gaz fazasynda okisleýär:



Bu reaksiýa gomogen reaksiýalaryň köpüsinden tapawutlylykda temperaturanyň ýokarlanmagy bilen onuň tizliginiň peselýänligidir.

Gaz fazasynda NO bilen O_2 -ň temperaturasyna we konsentrasiýasyna baglylykda reaksiýa massanyň komponentleriniň arasynda kesgitli bir deňagramlylyk bolýar. Reaksiýanyň deňagramlylyk konstantasynyň K_p baglylygy:

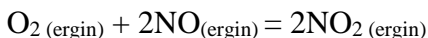
$$K_p = \frac{p_{\text{NO}}^2 p_{\text{O}_2}}{p_{\text{NO}_2}^2}$$

Absolýut temperaturadan T deňleme arkaly aňladylýar:

$$\lg K = \frac{5749}{T} + 1,75 \lg T - 0,005T + 1,839$$

bu ýerde p_{NO} , p_{O_2} , p_{NO_2} - NO , O_2 we NO_2 -ň gaz fazadaky parsial basyşy, MPa.

NO-ň kislород bilen okislenmesi şeýle hem suwuk fazada-da geçýär:



Azot dioksidi NO_2 - goýy-goňur gaz, atmosfera basyşda eýýäm otag temperatura ($20,7^\circ\text{C}$) şertlerinde suwuklanýar. Azot dioksidi reaksiýa boýunça tetrakside (reňksiz gaz) öwrülýär:

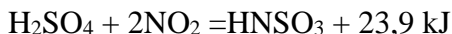


Bu reaksiýanyň deňagramlylyk konstantasynyň baglylygy:

$$K_p = \frac{p^2 \cdot \text{NO}_2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Nitroz gazlarynda azot oksidleriniň umumy mukdary 15 %-den az, NO-nyň okislenme derejesi bolsa 0,5-den ýokary.

Azot dioksidi kükürt kislotasy bilen nitrozilkükürt we azot kislotasyny emele getirýär:



Azot oksidi N_2O_3 (azotly angidrid) – otag temperaturasynda gaz halynda bolýar; bu birleşme diňe ýokary basyşda durnukly. 25°C -da we 0,1 MPa basyşda azot oksidleriniň ($\text{NO} + \text{NO}_2$) ekwimolekulýar garyndysynyň diňe 10,5 % -i N_2O_3 görnüşinde bolýar; azotly angidridiň galan mukdary NO we NO_2 -ä dargaýar.

$3,5^\circ\text{C}$ temperaturada azotly angidrid gök-mawy reňkli suwuklygy emele getirmek bilen azalýar, ol tiz dargaýar.

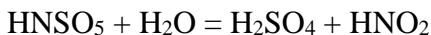
Azotly angidridiň emele gelme reaksiýasynyň deňagramlylygy:



Temperaturanyň peselmegi we basyşyň ýokarlanmagy bilen sag tarapa süýşýär, ol deňagramlylyk ýagdaýyna örän tiz gelýär.

Nitrozanyň häsiýetleri. Tehnikada nitroza diýlip kükürt kislotasynyň suwly erginlerindäki azot oksidleriniň (N_2O_3) erginlerine aýdylýar. Azot oksidleri olaryň okislenme derejesine baglylykda nitrozilkükürt kislotasyny emele getirýärler.

Nitrozilkükürt kislotasy reňksiz gigroskopik kristallar. Suwsuz kükürt kislotasynda azot oksidleri eredilende alnan nitrozilkükürt kislotasy durnukly bolýar, kükürt kislotasynyň suwly erginlerinde bolsa ol gidrolizleşýär:



Nitrozilkükürt kislotasynyň gidroliz derejesi temperaturanyň artmagy we kükürt kislotasynyň kondensasiýasynyň azalmagy bilen ýokarlanýar.

1. Azot oksidleriniň absorbsiýasynyň tizligi

Minaraaly sistemalaryň gazynda dürli okislenme derejeli (NO , NO_2 , N_2O_3) azot oksidleri saklanýar. Olar nitroza prosesiniň soňky stadiýasynda gazdan mümkin boldugyça doly bölünen bolmaly, sebäbi NO_2 -niň okislenmegi suwuk fazada geçýär, ýuwdulmadyk oksidler çykýan gazlar bilen atmosfera zyňylýar we şeýlelikde ýitgi emele gelýär.

Goýumly minarada absorbsiýa prosesiniň tizligi köp faktorlara bagly (goýumdaky gazyň tizligine, suwarylma dykzlygyna, temperatura we b.). Olaryň her haýsynyň täsir edişi, belli bir şertler bilen kesgirlenilýär.

Köp geçirilen barlaglaryň esasynda şu netijeler alnan:

- 1) Azot oksidleriniň kükürt kislotasy bilen absorbsiýa prosesi suwuk fazada himiki reaksiýa bilen geçýär.

- 2) Absorbsiýanyň maksimal tizligi gazdaky NO bilen NO₂-niň ekwimolekulýar gatnaşygyna gabat gelýär.
- 3) Goýumda gazyň tizligi we suwarylma dyklyzlygy ýeterlik uly bolanda umumy prosesiň tizligi esasan suwuk fazada geçýän himiki prosesleriň tizligi bilen kesgitlenilýär.

2. Kükürt dioksidiniň nitroza bilen absorbsiýasy

Nitroza prosesinde SO₂-niň azot oksidleri bilen okislenme prosesi suwuk fazada geçär, ol diňe kükürt dioksidi nitroza bilen ýuwdulandan soň geçip biler. Şonuň üçin hem, SO₂-niň absorbsiýa prosesi kükürt kislotasyny nitroza usuly bilen almagyň tizligini kesgitleýän esasy faktorlaryň biridir.

Kükürt dioksidiniň absorbsiýasynyň himiki reaksiýanyň geçmegi bilen kynlaşýanlygy üçin bu prosesiň tizligi SO₂-niň gaz fazasy we suwuklyk plýonkasy arkaly diffuziýasyna, şeýle hem suwuk fazadaky reaksiýanyň tizligine bagly. Bu faktorlaryň her haýsynyň täsiri belli bir şertlerde we çäklerde ýüze çykýar, şol sebäpli prosesiň optimal şertlerini kesgitlemek üçin olaryň her haýsyny aýratynlykda we beýleki faktorlar bilen bilelikde hasaba almaly.

Nitrozada kükürt kislotasynyň konsentrasiýasynyň 57 %-e çenli artmagy bilen SO₂-niň absorbsiýa tizligi nitrozilükürt kislotasynyň gidroliz derejesiniň peselmegine laýyklykda peselýar, ol nitrozada SO₂-niň okislenme tizligini kesgitleýän HNO₂-niň mukdarynyň azalmagy bilen geçýär.

Kükürt kislotasynyň konsentrasiýasynyň ondan soňky artdyrylmagy SO₂-niň absorbsiýa tizliginiň peselmegine getirýär (84,5 %-li H₂SO₄-da minimuma ýetýär), soňra täzeden haýallyk bilen ýokarlanyp başlaýar.

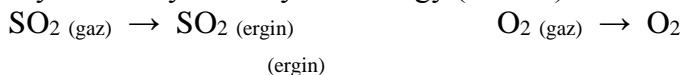
3. SO₂-niň nitroza bilen okislenişi

Nitrozada nitrozilükürt kislotasy gidrolizleşmedik bolsa, onuň SO₂ bilen täsirleşmeýänligi we nitrozilükürt kislotasynyň we onuň gidroliziniň önümleriniň kislorod bilen

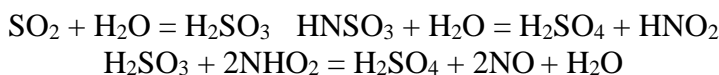
okislenmeýänligi (eger-de nitroza 75-92 %-li H_2SO_4 -y saklaýan bolsa) eksperiment arkaly tassyklanandyr. Şeýlelikde, nitrozilkükürt kislotasynyň özi kükürt dioksidini okislänok we kislorody baglanyşdyranok. Suwuk fazada SO_2 nitrozilkükürt kislotasynyň gidroliziniň önümleri bilen okislenýär.

Nitroza prosesinde kükürt kislotasynyň emele gelmeginiň şu reaksiýalarynyň shemasyny has ähtimal diýip hasap etmek bolar:

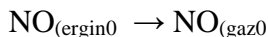
Gazyň suwuklyk bilen ýuwdulmagy (nitroza):



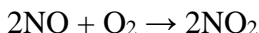
Suwuk fazadaky reaksiýa:



Suwuk fazadan azot oksidiniň bölünişi:



Gaz fazada azot oksidleriniň okislenişi:



4. Azot oksidleriniň nitrozadan bölünmegi (denitrasiýa)

Denitrasion minarany suwarýan kislotadan azot oksidleri mümkin boldugyça doly aýrylmaly. Munuň özi azot oksidleriniň ýitgisini azaltmak we ýokary hilli önüm almak üçin gerek. Şonuň üçin hem kükürt kislotasynyň denitrasiýasy nitroza prosesiniň wajyp stadiýasy bolup durýar.

Kükürt kislotasynyň denitrasiýasynyň tizligi onuň konsentrasiýasynyň köpelmegi bilen peselýär we temperaturanyň ýokarlanmgy bilen artýar.

Gazda SO_2 -niň mukdarynyň köpelmegi bilen denitrasiýa tizligi SO_2 -niň okislenme tizliginiň artmagy we kislotada kyn ereýän NO-ň emele gelmegi netijesinde artýar. Gazda kislorodyň mukdarynyň köpelmegi bilen denitrasiýa prosesi haýallayar, sebäbi azot oksidiniň bir bölegi suwuk fazada okislenýär; şonda emele gelen azot oksidiniň garyndysy kükürt kislotasynda gowy ereýär.

5. Gaz fazada NO-nyň kislorod bilen okislenişi

Azot oksidleri kükürt kislotasy bilen NO we NO_2 -niň ekwimolekulýar garyndysy görnüşinde has gowy ýuwdulýarlar. Azot oksidleriniň ýeterlik bolmadyk ýa-da has ýokary okislenme derejesi ýuwdujy başnyalarda azot oksidleriniň absorbsiýasynyň doly geçmegini peseltýär we olaryň çykyan gazlar bilen ýitgisini azaldýar. Şonuň üçin hem nitroza prosesinde azot oksidleriniň okislenme derejesine gowy gözegçilik edilýär.

Azot oksidleriniň deňagramlylyk şertlerine laýyk gelýän okislenme derejesi şu deňleme boýunça kesgitlenilýär:

$$K_p = \frac{p_{NO}^2 p_{O_2}}{p_{NO_2}^2} = P \frac{(1-X)^2 (n-mX)}{X^2 (1-mX)}$$

bu ýerde p_{NO} , p_{O_2} , p_{NO_2} – NO, O_2 we NO_2 -ň gaz fazadaky parsial basyşy, 0,1 MPa; P – gazyň umumy basyşy, 0,1 MPa; X – NO_2 -niň deňagramly okislenme derejesi, birlik paýy; n – 1 m^3 gazda kislorodyň göwrümi, m^2 ; m – 1 m^3 gazda NO-nyň göwrümi.

10.2. Nitroza usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiligi

Nitroza usulynda ýakylýan gaz tozandan arassalanylandan soň azot oksidleri eredilen kükürt kislotasy (nitroza diýip atlandyrylýan) bilen işlenilýär. Kükürt dioksidi nitroza bilen ýuwdulýar we soňra şu aşakdaky reaksiýa boýunça azot oksidleri bilen okislenýär:



Emele gelen NO nitrozada kyn ereýär we şonuň üçin ondan bölünip çykýar we soň bölekleyin gaz fazada NO_2 -ä çenli okislenýär. Azot oksidleriniň garyndysy NO bilen NO_2 täzeden kükürt kislotasy bilen ýuwdulýar we ş.m. Azot oksidleri nitroza prosesinde harçlanmaýar we önümçilik sikline gaýtarylýar. Emma, olaryň kükürt kislotasy bilen doly ýuwdulmagy üçin zyňylýan gazlar bilen bölekleyin çykýarlar; bu bolsa oksidleriň gaýtarylmaýan ýitgisidir.

Kükürt kislotasynyň nitroza usuly boýunça alnyşy şu stadiýalardan ybarat:

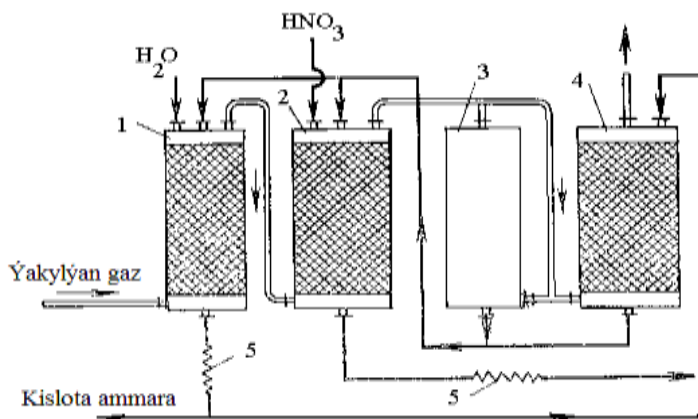
- 1) SO_2 -ni almak;
- 2) SO_2 -niň nitroza bilen ýuwdulmagy;
- 3) SO_2 -ni nitroza bilen okislenmegi;
- 4) nitrozany azot oksidlerinden saplamak (denitrasiýa);
- 5) nitrozadan bölünen azot oksidlerini gaz fazada kislorod bilen okislemek;
- 6) azot oksidleriniň kükürt kislotasy bilen ýuwdulmagy.

Nitroza prosesini öň gurşunly kamerada amala aşyrypdyrlar, şonuň üçin hem ol kameraly usul diýlip atlandyrylypdyr. Häzirki wagtda bu usul GDA-da ulanylmaýar. Onuň ýerine minaraly usul ulanylýar, bu usulda SO_2 -ni gaýtadan işlemekligiň ähli esasy we aralyklaýyn prosesleri kameralarda däl-de, goýum (nasadka) bilen doldurylan we kükürt kislotasy bilen suwarylýan minaralarda geçirilýär.

52-nji suratda minara usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginiň prinsipial shemasy görkezilen.

Birinji minara gyzgyn ýakylýan gaz berilýär, ol minarany suwaryan kislotaдан азот оксидleriniň bölünip çykmagy üçin niýetlenen. Bu proses kükürt kislotasynyň denitrasiýasy diýlip atlandyrylýar, birinji minara bolsa denitrasyon minara diýilýär. Bu minaradan çykýan denitrasyon kislotaynyň 3/1 bölegi töweregi taýýar önüm hökmünde ammara berilýär, galan bölegi bolsa soňky minarany suwarmak üçin berilýär.

Denitrasyon kislota kükürt kislotasynyň köp bolmadyk mukdary bilen suwarylýar, şonuň üçin hem kislota onda güýçli gyzýar, bu bolsa азот оксидleriniň bölünip çykmagyna getirýär. Denitrasiýa prosesi bilen bir wagtda minarada (1) kükürt dioksidi bölekleyin kükürt kislota bilen absorбирленýär we азот оксидleri bilen окисленýär. Prosesleriň geçiş häsiýetleri boýunça birinji minarany shemalaýyn üç zona bölmek bolýar. Aşaky zonada kükürt kislotaşynyň bugarmagy bilen suw buglary газ фаза bölünip çykýar, ortaky zonada азот оксидleri nitrozadan (onuň has suwuklanmagy netijesinde) bölünýärler, ýokarky zonada aşakdan berilýän suw buglary конденсирленýär, we şeýlelikde nitrozanyň suwuklanmagy we onda bölekleyin ereýän SO_2 -niň окисленmegi bolup geýär.



52-nji surat. Minaraly sistemanyň prinsipial shemasy:

- 1 – denitrasyon minara; 2 – önüm alynýan minara; 3– окислительный minara;
4 – абсорбционный minara; 5 – kislota sowadyjylar.

Şu geçýän proseslerden başga-da birinji minarada gazdan şeýle hem tozanyň galyndylary tutulýar, myşýakly angidrid we selen dioksidi ýuwdulýarlar, kükürt kislotasynyň buglary kondensirlenýär (ýakylýan gazda bar bolan SO_3 -den emele gelyär) we ş.m. Kükürt kislotasynyň ümüri diňe bölekleyin birinji minarada ýuwdulýar, onuň köp bölegi sistemanyň soňky minaralaryna berilýär.

Minara sistemalarynda taýýar önümi diňe denitrasyon minaradan çykarýarlar, bu ýerde ýakylýan gazyň ähli goşundylary doly tutulýar, şonuň üçin minara kislotasy myşýak, selen, galyndy tozan we beýleki goşundylar bilen hapalanan bolýar.

Ikinji minara esasan ýakylýan gazdan kükürt kislotasy bilen kükürt dioksidiniň absorpsiyasyny geçirmek we SO_2 -ni nitroza bilen okislemek üçin niýetlenen. Bu minarada kükürt kislotasynyň köp bölegi (taýýar önümiň 70-80 %-i) emele gelyär, şonuň üçin hem oňa köplenç önüm çykarýan minara diýilýär. Kislotanyň emele gelme prosesi minaranyň (2) tutuş beýikligine bolup geçýär, emma SO_2 -niň esasy mukdary onuň aşaky böleginde okislenýär, bu ýerde prosesiň geçmegi üçin has amatly şertler döredilýär. SO_2 okislenende nitrozadan bölünip çykýan azot oksidleri nitroza bilen suwarylýan minaranyň ýokarky böleginde bölekleyin ýuwdulýarlar, emma oksidleriň köp bölegi gaz akymy bilen okisleýji minara (3) berilýär. Bu ýerde azot oksidleri okislenýär. Ol NO bilen NO_2 -niň arasyndaky gatnaşyk N_2O_3 -ň emele gelmegi üçin talap edilýän mukdarda okislenýär; şonuň ýaly görnüşde azot oksidleri absorpsion minarada has doly ýuwdulýarlar.

Minarada (3) NO gazda saklanýan kislorod bilen okislenýär. Onuň okislenme derejesini minaranyň gapdalyndan (baýpas) gaz geçiriji boýunça gazyň bir bölegini goýbermek arkaly sazlaýarlar. Okisleýji minaradan gaz başnýa (4) berilýär, bu ýerde azot oksidleri ony suwarýan kükürt kislotasy bilen ýuwdulýarlar; bu minara absorpsion ýa-da ýuwdujy minara diýlip atlandyrylýar.

Ýakylýan gaz sowadylanda we kükürt kislotasy emele gelende köp mukdarda ýylylyk bölünip çykýar, şonuň üçin denitrasion we önüm alynýan minarlarda suwaryan kislota gyzýar we suwarmak üçin gaýtaryp berilmezden öň ol sowadylýar. Onuň üçin sowadyjylar (5) goýlan. Minara usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginde zyňylýan gazlar, çykýan önüm we ş.m. bilen azot oksidleriniň ýitgisi bolýar. Şol ýitgileri dolmak üçin denitrasion minara (1) we önüm alynýan minara (2) azot kislotasy berilýär. Kükürt kislotasynyň emele gelmegi üçin zerur bolan suw hem bu minarlara berilýär.

10.3. Minaraly sistemalaryň apparaturasy

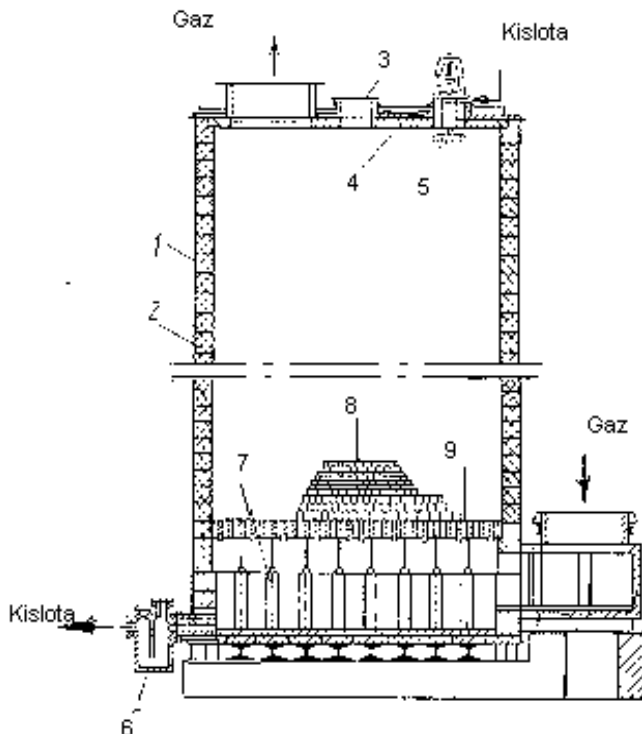
Minaraly sistemalaryň esasy apparaturalary – goýum (nasadka) bilen doldurylan başnýalar (skrubber) bolup, olaryň ölçegi minaraly sistemanyň öndürijiligine baglylykda tapawutlanýarlar: diametri – 4 – 14 m, beýikligi – 14 – 18 m.

Ähli minaralar – polatdan ýasalan, andezit, beştaunit ýa-da keramika bilen örtülen. 53-nji suratda polatdan ýasalan futerowkaly halka görnüşli goýum bilen doldurylan minara görkezilen. Gözenegiň aşaky böleginde futerowkanyň galyňlygy - 300-den 450 mm-e çenli, gözenegiň ýokarsynda 120-den 250 mm-e çenli ýetýär.

Denitrasion we önüm çykarýan minaralaryň futerowkasynyň galyňlygy sistemanyň beýleki minaralaryndakydan uludyr, sebäbi olara has ýokary temperaturaly gaz berilýär. Minaralaryň gapaklary armirlenen kislotaçydamly betondan ýasalan.

Kükürt kislotasy minaradan gidrawliki böwet arkaly çykýar, ol jebis ýapylan çöýün ýa-da polat düýbüne ýetmeýän böwetli futerowkaly korobkadyr. Minaralar öz aralarynda polat gaz geçirijiler bilen birikdirilen. Olar korroziýadan goramak üçin kislota çydamly futerowka bilen örtülen.

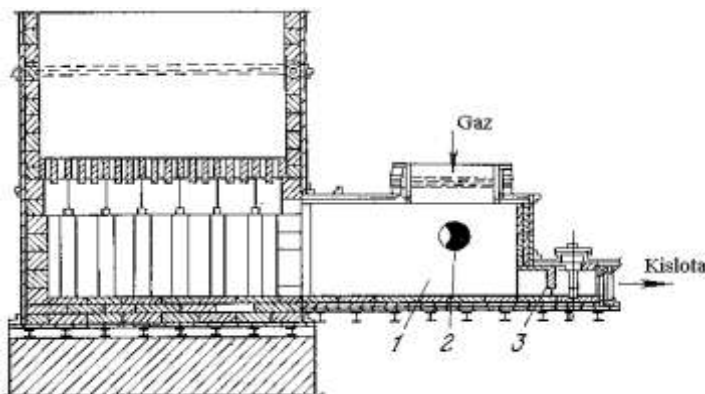
Azot kislotasynyň harçlanyşyny azaltmak üçin we tutuş minara sistemasynyň işini gowulaşdyrmak üçin sistema berilýän ýakylýan gazyň temperaturasyny ýokarlandyrmak maksadalaýykdyr.



53-nji surat. Polatdan ýasalan futerowkaly minara.

- 1 – polat korpus; 2 – futerowka; 3 – lýuk; 4 – kislotaa çydamly betondan armirlenen gapak; 5 – pürküji turbajyk; 6- gidrawliki böwet;
7 – gözenegiň kolonkasy; 8 – goýum; 9 – kolosnik.

Netijede, minaranyň aşaky böleginde has agressiw sreda döreýär, şonuň üçin hem käwagt gazyň temperaturasyny minaranyň nasadkasyna girmezden öň peseldýärler, onuň üçin minaralar uzaldylan gaz korobkasy bilen enjamlaşdyrylan (54-nji surat)



54-nji surat. Uzaltdylan gaz korobkaly minara:

1 – gaz korobkasy; 2 – lük; 3 – böwet.

Goýumdan çykýan kislota korobkanyň düýbi boýunça çykalga barýar, gyzgyn gaz ters akymlaýyn kislotaň ýokarsyndan minara tarap süýşýär. Şonda gazyň temperaturasy peselýär, kislotaň bölünip çykýan suw buglary gaz bilen bilelikde minara berilýär.

Minaralaryň iş prosesinde goýum hapalanýar we onuň garşylygy artýar. Goýumyň hapalanmagy aýratyn minaralarda we bir minaranyň içinde hem gyrađeň geçmeýär, şonuň üçin hem sistemanyň garşylygynyň artmagynyň onuň ileyşiniň dowamlylygyna baglylygyny kesgitlemek kyn bolýar.

Suwuklygy bermek üçin ýaýradyjy gurluş

Minaranyň, şeýle hem tutuş minara sistemasynyň kadaly işlemegi diňe bir suwarýan kislotaň mukdaryna bagly bolman, onuň minaranyň kesimi boýunça gyrađeň ýaýaraýşyna hem baglydyr.

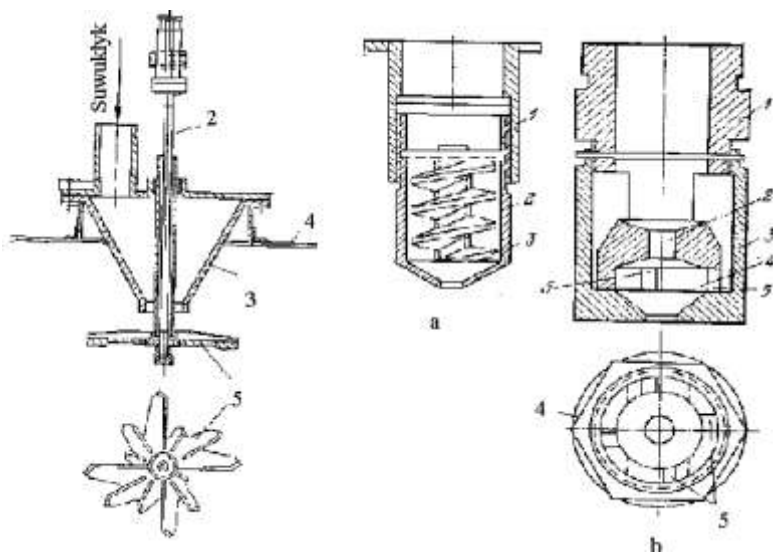
Suwarýan kislota gyrađeň ýaýaramasa, goýum käbir uçastoklarda suwuklyk bilen öllenmeýär, onuň netijesinde bolsa gazyň suwuklyk bilen galtaşma üsti peselýär we minaralarda prosesiniň geçiş prosesi ýaramazlaşýar.

Suwarýan kislotany minaranyň kesimi boýunça ýaýratmak üçin dürli görnüşli gurluşlar ulanylýar.

Kämilleşdirilen minaraly sistemalarda merkezden daşlaşýan pürkújiler ulanylýar, ol minaranyň gapagynyň merkezinde goýlan. Herekete getiriji turbinkanyň wertikal walynda (2) ýyldyzjyk (5) aýlanýar, oňa kameradan (3) kükürt kislotasy guýulýar, ol merkezden daşlaşýan güýçleriň täsiri astynda pürkülýär. Ýyldyzjygyň dürli uzynlykda bolan gapyrgaly şöhleleri bolýar; gapyrga uzyn boldugyça, kükürt kislotasy şonça-da daşa zyňlýar. Gapyrgalaryň uzynlygyny kislota minaranyň kesimi boýunça gyrađeň ýaýrar ýaly saýlap alýarlar. Turbinkanyň waly elektrikhereketlendirijiden reduktor arkaly aýlawla getirilýär. Suwarýan kükürt kislotasynyň mukdary minaradaky prosesiniň şertleri bilen kesgitlenýär we nasosyň öndürijiligi bilen üpjün edilýär.

Soňky ýyllarda kükürt kislotasynyň önümçiliginde minaralary suwarmak üçin mehaniki forsunkalary ulanyp başladylar, olar gurluşynyň ýönekeýligi, kislotanyň gyrađeň ýaýraýanlygy we az hapalanýanlygy bilen tapawutlanýarlar.

9-7 suratda içi boş minaralarda suwuklygy pürkýän mehaniki forsunkalaryň iki görnüşi şekillendirilen. 99-7, a) suratda görkezilen forsunka silindrik stakandan (1) (diametri 50 mm) ybarat, oňa aşaky böleginde deşigi bolan korpus (2) towlanan. Korpusda dört girelgeli dişli wint (3) ýerleşdirilen. Şonuň ýaly forsunka bilen pürkülýän suwuklygyň damjalarynyň ortaça diametri takmynan 2 mm-e deň, diametri 1 mm-den uly bolan damjalaryň mukdary 90 %-e golaý.



55-nji surat. Merkezden daşlaşýan pürküji: 56-njy sur. Mehaniki forsunka:
 1 – herekete getiriji; 2 – wal; 3 – kislota üçin kamera; a – dişli tüweleýläp
 4 – minaranyň gapagy; 5 – turbinka (ýyldyzjyk). galdyryjy;
 1 – stakan; 2 – korpus; 3 – dişli
 wint; b – silindrik içlikli.

11. KÖMEKÇİ ENJAMLAR

Kükürt kislotalary önümçiliginiň esasy apparatlary hemişe goşmaça enjamlar bilen üpjün edilýär, olaryň kükürt kislotalary desgasyňyň işleýşiniň effektiwligine täsiri uldyr.

Gazy göçürmek üçin gazüfleýjiler (gysyjylar) hyzmat edýär, olar sistemada guradyjy bölümden soň goýulýar (kolçedanda işlenilende). Gazüfleýjä berilýän gaz enjamyň çüýremezligi üçin önünden sowadylýar we goşundylardan arassalanylýar. Kolçedandan kükürt kislotalaryň önümçiliginde gysyjydan ön ýerleşdirilen (peç we arassalaýjy bölümlerinde) ähli apparatlar wakuum şertlerinde işleýärler, kontakt we absorpsion bölümlerde ýerleşdirilen, ýagny gysyjydan soň goýlan apparatlar - käbir artykmaç basyşda işleýärler. Eger gaz geçirijide ýa-da gazüfleýjiden öňdäki haýsy bolsa-da bir apparatda näsazlyk bolsa, onda olar arkaly howa sorulýar we gaz suwuklanýar; esasan hem guradyjy başnyadan gysyja (gazüfleýjä) çenli uçastoklarda howanyň sorulmasy rugsat berilmesizdir, sebäbi şonda gazyň çyglylygy ýokarlanýar.

Kükürtde işleýän desgalarda gazüfleýji prosesiniň başynda ýerleşýär (surat 8-2); bu ýagdaýda ähli apparatlar basyş astynda bolýarlar, ol bolsa gazyň howa bilen suwuklanmagynyň önüni alýar, şeýle hem kislotalaryň çökmegini aradan aýyrýar.

Hemişe bir sistema üçin bir işçi we bir ätiýaçlyk gazüfleýji goýulýar, iki sistema üçin - iki sany işçi we bir ätiýaçlyk we ş.m.

Köplenç gazüfleýjiler ýörite ýerlerde, ýagny sehiň beýleki bölümlerinden izolirlenen ýerlerde goýulýar.

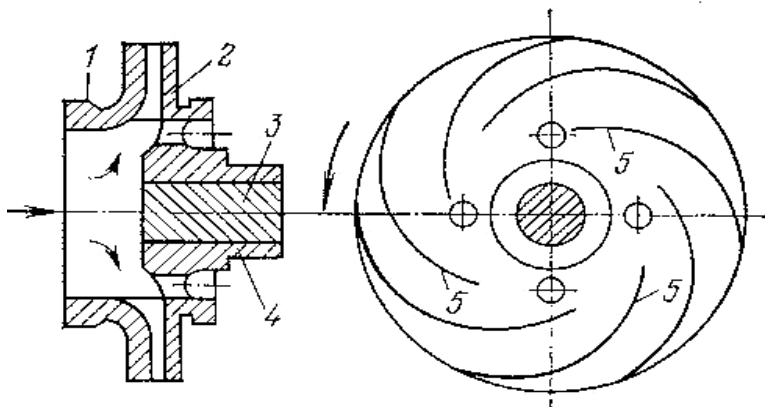
11.1. Nasoslar

Kükürt kislotalary sistemalarynyň minaralaryny we absorberlerini suwarmak üçin kislotalaryň köp mukdaryny

geçirmeli bolýar. Suwaryan kislota üznüksiz we gyrađen berilmeli, kislota berlende näsazlygyny ýüze çykmagy tehnologiki režimiň bozulmagyna getirýär.

Kislotany dürli konstruksiýaly merkezden daşlaşdyrýan nasoslaryň (sorup-iterijileriň) kömegi bilen geçirýärler. Şonuň ýaly nasosyň (57-nji surat) gurluşy şundan ybarat: ýapyk korpusyň içinde pilçeli (5) işçi tigr (2) aýlanýar. Suwuklyk, tigiriň merkezinde şol pilçelere düşüp, merkezden daşlaşdyrýan güýç bilen korpusyň diwaryna zyňlýar. Şonda basyş döreýär, ol suwuklygy üfleýji turbageçirijä itekleýär. Bu basyş işçi tigiriň diametrine we işçi tigiriň aýlaw sanynyň kwadratyna deň. Şeýle hem howaly sowadyjylar barha giňden ulanylyşa eýe bolýar. Ol sowadyjy suwuň ulanylmagyny aradan aýyrýar, onuň bolsa uly praktiki ähmiýeti bardyr.

Kislota sowadyjylaryň wajyp häsiýetnamalarynyň biri hem ýylylyk geçirme koeffisiýentidir; ol ýokary boldugyça sowadyjynyň ölçegleri şonça-da kiçi bolýar.



57-nji surat. Merkezden daşlaşdyrýan nasosyň shemasy: 1 – sorujy patrübok; 2 – işçi tigr; 3 – wal; 4 – wtulka; 5 – pilçeler (böwet).

11.2. Kislota sowadyjylar

Kükürt kislotasy alnanda köp mukdarda ýylylyk bölünip çykýar, onuň tygşytly çykarylmagy önümçilik şertlerinde möhüm ähmiýete eýedir. Kontakt we nitroza

prosesleriniň esasy uçastoklarynyň temperatura režimi kislota sowadyjylarynyň işleýşi bilen kesgitlenilýär.

Kükürt kislotasy senagatynda dürli görnüşli kislota sowadyjylar ulanylýar; çümdürilen, suwaryjy, spiral, turbaly, howaly we beýl. Çümdürilen sowadyjylar has ýokary ýylylyk geçirme koeffisiýenti üpjün edýär.

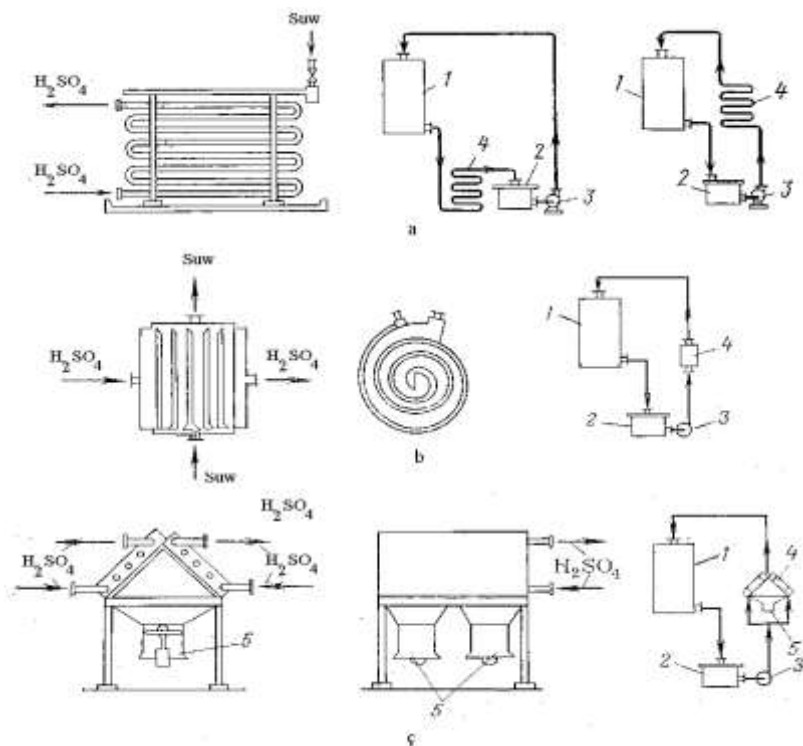
Şeýle hem howaly sowadyjylar barha giňden ulanylýar, olar sowadyan suwuň ulanylmagyny aradan aýyrýar, onuň bolsa praktiki ähmiýeti uludyr.

Sowadyjylaryň esasy häsiýetnamalarynyň biri hem ýylylyk geçirme koeffisiýentidir; ol uly boldugyça, sowadyjynyň ölçegleri şonça--da kiçi bolýar. Sowadyjynyň görnüşi saýlanyp alnanda şeýle hem sowadyan kislotanyň konsentrasiýasy we temperaturasy (sebäbi materialyň korroziýa durnuklylygy şoňa bagly bolýar), kislotadaky gaty goşundylar (olar sowadylyan üstde çöküp bilýärler) hasaba alynýar.

Çümdürilýän sowadyjylar kontakt usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginde 1-nji we 2-nji ýuwujy başnyalarda kislotany we nitroza usulynda dürli kislotalary sowatmak üçin ulanylýar. Bu sowadyjylar polat rezerwuarlar bolup, iç ýüzünden gurşun ýa-da kislotaçydamly kerpiç bilen örtülen. Rezerwuarda diametri 50 – 60 mm bolan gurşundan ýylan görnüşli turbalaryň birnäçesi goýulýar. Sowadyan suw her egrem-bugram turbanyň aşagyndan berilýär we olar boýunça aşakdan ýokaryk geçýär. Gyzgyn kislota sowadyjynyň merkezi bölegine kislotanyň derejesinden biraz aşakdan berilýär we birnäçe turbalar arkaly aşaky böleginden çykarylýar.

Ýuwujy başnyalaryň kislotasy gaty asylan görnüşli bölejikleri (tozanyň galyndylary) saklaýar, ol ýylylyk geçirme koeffisiýenti peseldýär, şonuň üçin sowadyjylary wagtal-wagtal arassalamak üçin duruzýarlar.

58-nji suratda kislota sowadyjylaryň has giňden ýaýran görnüşleri görkezilen.



58-nji surat. Kislota sowadyjylar:

- a- suwaryjy; b – spiral; w – howa; 1 – başnýa; 2 – ýygnaýjy;
3 – nasos; 4 – sowadyjylar; 5 – howa wentilýatory.

Suwaryjy sowadyjy (surat 58-8) birnäçe gorizontal turbalardan ybarat; her hataryň üstünde suw ýaýradyjy ýerleşdirilen, ondan sowadyjy suw ýylylyk çalşyjy turbalara dökülýär we ondan soň sowadyjynyň düýbüne (4) geçýär.

Gyzgyn kislota aşaky kollektora (3) berilýär, turbalar boýunça parallel akymlara ýaýraýar, olarda sowaýar we sowadyjydan ýokarky kollektor (2) arkaly çykýar.

Suwaryjy sowadyjylar ýönekeý, işleýşi ynamly, aňsat bejeriş işlerini geçirip bolýar we kükürt kislotasy desgalarynda aýlanýan kislotalaryň ählisini sowatmak üçin ulanmak bolýar. Ol turbalary ýasamak üçin degişli materiallaryň ulanylmagyny üpjün edýär.

Sowadyjynyň görnüşini saýlanyp alnanda, şeýle hem sowadyjy kislotanyň konsentrasiýasy we temperaturasy (sebäbi materialyň korroziýa durnuklylygy şoňa bagly bolýar), kislotadaky gaty goşundylaryň barlygy (olar sowadylýan üstde çöküp bilýärler) hasaba alynýar.

11.3. Minaralaryň goumlary (nasadka)

Gazyň suwuklyk bilen gowy kontaktlaşmagy üçin minaralary giň ýaýran üstli goýumlar bilen doldurýarlar, içi boş minarlarda bolsa suwaryan kislotany (inçe) pürkýärler.

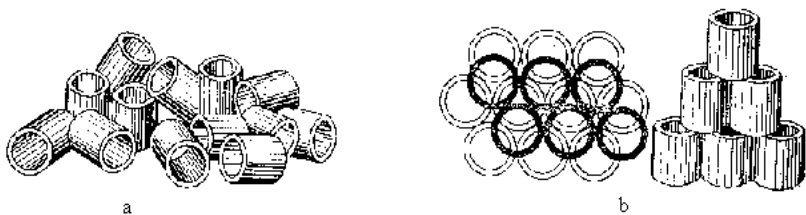
Goýumly minara suwarylanda gaz goýumyň öllenen üstünde suwuklyk bilen, içi boş başnyalarda bolsa – pürkülýän suwuklygyň ownuk damjalary bilen galtaşýar.

Başnyalaryň işleýşiniň effektiwligi köp derejede goýumyň görnüşine, onuň goýulşynyň usulyna we goýumsyz başnalarda suwuklygyň pürkülşiniň derejesine we gyrađeňligine bagly bolýar.

Goýumlaryň dürli görnüşleri ulanylýar, olary saýlap almaklyk her bir ýagdaýda prosesiniň mahsus şertleri bilen kesgitlenilýär.

Goýumyň hilini häsiýetlendirýän esasy görkezijilere şular degişli:

- 1) udel üsti – 1 m^3 goýumyň üsti (m^2/m^3);
- 2) erkin göwrümi – goýumyň 1 m^3 göwrüminiň göwrümi (gazyň geçip biljek (m^2/m^3), bu görkeziji goýumyň gidrawliki garşylygyny kesgitleýär;
- 3) dökülen dykzlygy (kg/m^3);
- 4) kislota çydamlylygy;
- 5) bahasynyň pesligi.

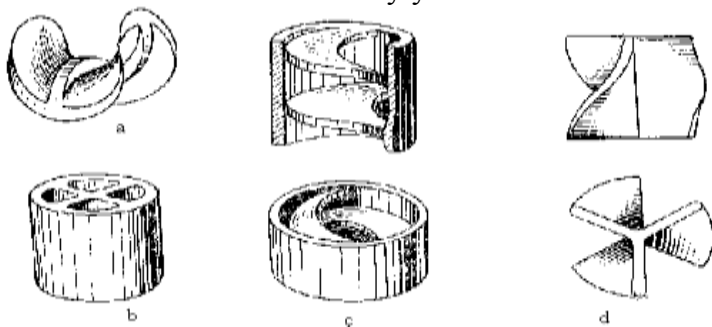


59-njy surat. Minaralaryň halka görnüşli goýumlary:
a - dökülen; b – dogry hatara goýlan

Suratda (59 we 60-njy suratlarda) kükürt kislotasynyň önümçiliginde ulanylýan goýumlaryň görnüşleri şekillendirilen.

Kontakt sistemalaryň 2-nji ýuwujy minaralaryndaky, minaraly sistemalaryň denitrasyon we konsentrasion minaralaryndaky goýum ýeterlik termodurnukly bolmaly, sebäbi önümçilik şertlerinde suwarylýan kislotanyň berilmeginiň gysga wagtlaýyn kesilmegi we goýumyň gyzgyn ýakylýan gaz bilen güýçli gyzdyrylmagy mümkin; hemişe bu minaralara farfor goýumlar ýüklenilýär.

Kükürt kislotasynyň sistemalarynda arzan we çylşyrymly bolmadyk keramikadan we farfordan ýasalan halkaly goýumlar has giňden ulanylýar. Olar udel üstüniň ululygy bilen tapawutlanýarlar. Köplenç ölçegi 50×50×5 we 80×80×8 mm bolan halkalar ulanylýar.



60-njy surat. Keramiki goýumlaryň elementleri:
a-eýer görnüşli; b – böwetli halka; ç – spiral halkalar; d – propeller goýum.

Goýum gözenek torlaryň deşikleri arkaly dökülmez ýaly ilki bilen ölçegi 120×120 mm bolan goýumlar, soňra ölçegi $100 \times 100 \times 10$ mm bolan halkalar, olaryň üstünden bolsa has ownuk halkalar – ölçegi $80 \times 80 \times 8$ mm, olaryň üstünden bolsa ölçegi $50 \times 50 \times 5$ mm bolan ownuk halkalar goýulýar.

12. ZÄHMETI GORAMAK WE HOWPSUZLYK TEHNIKASY

Kükürt kislotasy önümçiliginde kükürt dioksidi, azot oksidleri ýa-da ümür görnüşli kükürt kislotasy bilen zäherlenilmegi mümkin. Şeýle hem kükürt kislotasy bilen we apparaturalaryň hem-de kommunikasiýalaryň gyzgyn üstleri bilen golaýlaşylanda termiki ýanygyň bolmagy mümkin.

Kükürt dioksidi deriniň, burnuň, gözüň we dem alyş ýollaryň nemli bardasynyň gyjynmasyny ýüze çykarýar. Howada 60 mg/m^3 SO_2 saklananda öýkeniň çişmegi we ýüregiň giňemegi bilen ýiti zäherlenilmegi mümkin.

SO_2 -den goranmak üçin süzüji protiwogaz ulanylýar. Heläkçilik çeken haýal etmän arassa howa çykarmaly, kislorod bermeli we sodanyň gowşak erginini içirmeli. Güýçli zäherlenmelerde emeli dem berilmeli we lukmany çagyrmaly.

Kükürt angidridi suwuň buglary bilen birleşip, kükürt kislotasynyň ümürini emele getirýär. Şonuň ýaly ümür howada bolanda dem almak kynlaşýar. Önümçilik ýerleriniň işçi zonasynyň howasynda SO_3 bilen H_2SO_4 -iň rugsat berilýän konsentrasiýasy 1 mg/m^3 bolmaly.

Ümür görnüşli kükürt kislotasy bilen zäherlenilende bokurdagy soda ergini bilen çäykamaly we seresaplyk bilen (lukmanyň gözegçiliginde) spirtiň, efiriň ýa-da hlorofomuň buglaryndan dem almaly.

Azot oksidi öýkene gyjyndyryjy täsir edýär we onuň çişmegine getirýär. Zäherlenmek dem alyş ýollarynyň aňsat gyjynmagyndan başlanýar. Çäkli rugsat edilýän konsentrasiýasy 5 mg/m^3 .

Kükürtwodorod güýçli täsir edýän zäher. Güýçli konsentrasiýalarda (H_2S g/m^3 -dan ýokary bolsa) zäherlenme tiz geçýär. Önümçilik ýerleriniň işçi zonasynyň howasynda H_2S -yň rugsat berilýän konsentrasiýasy 10 mg/m^3 bolmaly.

EDEBIÝATLAR:

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetiniň, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Амелин А.Г. Производство серной кислоты. Изд. Химия. 1986.
11. Амелин А. Г. Технология серной кислоты. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. – М., 1983.
12. Васильев Б.Т., Отвагина М.И. Технология серной кислоты. М., Химия, 1985.
13. Расчеты по технологии неорганических веществ. Под ред. Позина М.Е., М., «Химия», 1977.
14. Справочник сернокислотчика. Под ред. Малина К. М., «Химия», 1971.

- 15.** Позин М. Е. Технология минеральных удобрений, Химия Л., 1974.
- 16.** Позин М.Е. Расчеты по технологии неорганических веществ, М., 1966

MAZMUNY

	Sözbaşy	7
	Giriş	9
1.	Umumy maglumatlar	11
1.1.	Gysgaça taryhy maglumatlar	11
1.2.	Kükürt kislotasynyň we oleumyň häsiýetleri	12
1.3.	Kükürtli angidridiň häsiýetleri	22
1.4.	Kükürt angidridiniň häsiýetleri	23
1.5.	Kükürt kislotasynyň görnüşleri	24
1.6.	Kükürt kislotasynyň saklanyşy we daşalyşy	25
1.7.	Apparatura üçin konstruksiýa materiallar	25
1.7.1.	Metallar we splawlar	26
1.7.2.	Himiki durnukly organiki däl materiallar	28
1.7.3.	Himiki durnukly organiki materiallar	29
2.	Kükürt kislotasyny almak üçin ulanylýançig mallar	31
2.1.	Kükürt kolçedany	31
2.2.	Reňkli metallurgiýanyň gazlary	32
2.3.	Kükürt	33
2.3.1.	Tebigy magdandan alynýan kükürt	37
2.3.2.	Gaz kükürdiniň alnyşy	40
2.3.3.	Tebigy gazlardan, nebitden we kömürden alynýan kükürt	44
2.4.	Aglomerasion gazlar	47
2.5.	Dürli görnüşli kükürt saklaýan çig mallar	47
3.	Kükürt saklaýan çig mallaryň ýakylşy	49
3.1.	Kükürt saklaýan çig malyň ýakylşynyň fiziki-himiki esaslary	49
3.2.	Kolçedany ýakmak üçin ulanylýan pesler	56
3.3.	Gaýnaýan gatlakly (GG) peçler	57
3.4.	Kükürdi ýakmak üçin ulanylýan peçler	65
3.5.	Kükürtwodorody ýakmak üçin ulanylýan peçler	71
4.	Ýakylýan gazy tozandan, ümürden arassalamak	76
4.1.	Mehaniki usul bilen arassalamak	78
4.2.	Elektrik usuly bilen arassalamak	80
5.	Ýakylýan gazyň ýörite arassalanylyşy	83
5.1.	Arassalama prosesiniň fiziki-himiki esaslary	83

5.2.	Ümür görnüşli goşundylaryň bölünmegi	84
5.3.	Gazyň guradylyşy	85
5.4.	Guradyjy başnyada ümüriň emele gelmegi	87
5.5.	Häzirki zaman kontakt zawodyň arassalaýjy bölümi	88
5.5.1.	Arassalaýjy bölümiň shemasy	88
5.5.2.	Arassalaýjy bölümiň apparaturasy	91
6.	Kükürt dioksidiniň (SO_2) okislenişi	98
6.1.	Kükürt diooksidini katalitiki okislemegiň fiziki-himiki esaslary	98
6.2.	Deňagramly öwrülme derejesi	99
6.3.	SO_2 -niň SO_3 -e okislenme reaksiýasynyň tizligi	101
6.4.	Wanadiý kontakt massasy	102
7.	Wanadiý katalizatorynda SO_2-ni SO_3-e okislemegiň şertleri	108
7.1.	Kontakt massanyň mukdaryny kesgitlemek	113
7.2.	Wanadiý katalizatorynda SO_2 -ni SO_3 -e okislemegiň optimal şertleri	115
7.3.	Katalizatoryň içki üstüniň ulanylyş derejesi	119
7.4.	Ikileýin kontaktirleme	121
7.5.	Kükürt kislotasyny öndürýän häzirki zaman zawodlaryň kontakt bölümi	122
7.5.1.	Kontakt apparatlar we kontakt uzeli	126
7.5.2.	Ýylylyk çalşyjy apparatura	133
8.	Gazyň guradylyşy we kükürt angidridiniň absorbsiýasy	140
8.1.	Gaz garyndysyndan kükürt angidridinden absorbsiýa prosesiniň fiziki-himiki esaslary	141
8.1.1.	SO_3 -ň kükürt kislotasy bilen absorbsiýasy	143
8.2.	Häzirki zaman kontakt zawodyň absorbsion bölümi	147
8.2.1.	Absorbsion bölümiň apparaturasy	149
8.2.2.	Guradyjy-absorbsion bölümiň material balansy	152
8.2.3.	Zyňylýan gazlaryň zyýansyzlandyrmak	157
8.2.4.	100 %-li we stabilizirlenen SO_3 -niň alnyşy	160
9.	Kükürtden we beýleki çig mallardan kontakt usuly boýunça kükürt kislotasynyň alnyşy	162
9.1.	Kükürtden kükürt kislotasynyň alnyşy	162

9.2.	Öl kataliz usuly boýunça kükürtwodoroddan kükürt kislotasynyň alnyşy	166
9.3.	Gipsden we fosfogipsden kükürt kislotasynyň alnyşy	168
9.4.	Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasyny almagyň beýleki usullary	171
9.4.1.	Basyşyň we kislorodyň ulanylmagy bilen sistemalaryň işlenilip düzülişi	172
9.4.2.	Kontakt usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiliginiň kämilleşdirilişi	173
10.	Nitroza usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiligi	178
10.1.	Nitroza prosesiniň fiziki-himiki esaslary	178
10.2.	Nitroza usuly boýunça kükürt kislotasynyň önümçiligi	184
10.3.	Minaraly sistemalaryň apparaturasy	187
11.	Kömekçi enjamlar	192
11.1.	Naososlar	192
11.2.	Kislota sowadyjylar	193
11.3.	Minaralaryň goulary	196
12.	Zähmeti goramak we howpsuzlyk tehnikasy	199
	Edebiýatlar	200
	Mazmuny	202