

NSVL KHM

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
KEEMILISE TEHNOLOOGIA KATEEDER

Teadusliku uurimistöö aruanne

GAASISIGUDE JÄRELPUHASTAMISE VÕIMALUSTE UURIMINE
HÕLJUVAS KIHIS ASUVA ADSORBENDIGA

Teaduslik juhendaja:
tehn. tead. kand.

E. Siirde
(E. Siirde)

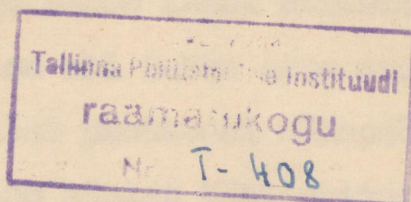
Vastutav täitja
tehn. tead. kand.

E. Uus
(E. Uus)

TPI dir. aset. teadusliku
töö alal

H. Lepikson
(H. Lepikson)

Riigieelarveline töö teostatud 1957.a.



Tallinn, 1957

1. Sissejuhatus

Keemiatööstuses on viimastel aastakümnetel hakatud laialdaselt kasutama protsesse nn. hõljuvas või keevas kihis.

Hõljuv kiht võib leida kasutamist mitmesuguste füüsilistele või keemilistele seadusepärasustele põhinevate protsesside puhul, mis toimuvad tahke ja gaasilise faasi vahel tingimustes, milledes gaasi faasi lineaarkiiirus peeneteralise tahke aine kihi läbimisel on suhteliselt suur ning selletõttu tahke aine osakesed kantakse laiali gaasi faasi, kuhu nad jäävad hõljuma kogu protsessi kestel.

Eriti levinenud on hõljuva kihi kasutamine selliste protsesside puhul nagu vedelkütuste katalüütiline krakimine, tahkete ainete kuivatamine, gaasisegude lahutamine, gaaside puhastamine adsorptsiooni teel jne.

Hõljuva kihi kasutamine mitmesugustes tehnoloogilistes protsessides omab eeliseid võrreldes sama protsessi läbiviimisega tahke faasi statsionaarse kihiga. Protsessi läbiviimise all tahke aine statsionaarse kihiga mõistetakse sellist protsessi hüdrodünaamiliste režiimi, milles tahke aine kihist läbijuhitud gaasi faasi lineaarkiiirus on suhteliselt väike ja ei põhjusta tahke faasi osa-

keste laialikandmist gaasi faasi. Statsionaarse kihi puhul gaas läbib tahke aine kihi osakeste vahel olevate kanalite kaudu.

Hõljuva kihi kasutamise puhul tõuseb tunduvalt protsessi intensiivsus, sest suureneb mitmekümne kordselt seadmest läbivoolava gaasi kiirus, seejuures aga tahke aine kihi hüdrauliline takistus väheneb tunduvalt.

Hõljuva kihi kasutamisel eksotermiliste protsesside puhul toimub kiire temperatuuride ühtlustumine kogu tahke aine kihis ja ühtlasi paranevad ka soojuseülekande tingimused aparaatides, mis avaldab mõju protsessi edukale kulgemisele. Tahke materjal, mis asub hõljuvas kihis, on kergesti suunatav ühest seadmest teise. See omadus hõljuva kihi kasutamise korral annab võimaluse paljude, kuni käesoleva ajani perioodiliselt teostatud protsesside, organiseerimiseks pidevateks protsessideks. Eriti oluline on see mitmesuguste katalüütiliste ja adsorptsiooni protsesside puhul, kus katalüsaator või adsorbent vajab pidevat regenereerimist. Samaaegselt on võimalik suurendada ka nende protsesside intensiivsust ja automatiseeritavust.

Üheks tähtsamaks hõljuva kihi kasutamise alaks võib pidada mitmesugustes keemiatööstuse ettevõtetes esinevaid adsorptsiooni protsesse nagu näiteks maa- ja sünteetiliste gaaside lahutamine üksikuteks komponentideks, gaaside puhastamine ebasoovitavaist lisandest jne.

Kuni käesoleva ajani kasutatakse gaasitööstuses välvvesiniku järelpuhastuseks perioodiliselt teostatavat adsorptsiooni protsessi. Perioodilise protsessi läbiviil-

niseks kasutatavad seadmed on oma mahult suured ja seotõttu vajavad ka suuri adsorbendi (soorauamuld, aktiivsüsi) koguseid. Perioodilise gaasipuhastuse üleviimine pidevaks aitaks palju kaasa selle protsessi intensiivistamiseks.

Kirjanduses on olemas mõningaid andmeid süsivesinikgaaside segudest üksikute komponentide adsorbeerimiseks aktiivsõega hõljuva kihi hüdrodünaamilise režiimi tingimustes. (1,2).

Tuleb märkida, et seadmed, milliseid käesoleval ajal kasutatakse gaaside järelpuhastamisel väävelvesinikust perioodilises protsessis aktiivsõega ei erine oma konstruktsioonilt ja hüdrodünaamiliselt režiimilt neist seadmetest, milliseid kasutatakse süsivesinikgaaside segust bensiinifraktsiooni ja teiste raskemate komponentide adsorbeerimiseks. (3,4).

Väävelvesiniku eraldamise kohta gaasisegudest hõljuva adsorbendiga puuduvad kuni käesoleva ajani literatuurandmed, kui mitte arvestada üksikuid patente. (15).

Mitmed autorid (1,2,5,6,7,8) on teinud oma uurimistööde tulemuste põhjal üldistusi, mis iseloomustavad nii hõljuvas kihis toimuvate protsesside hüdrodünaamilist olukorda kui ka mitmesuguste protsesside kineetikat. Nimetatud uurimistööd ei ole suutnud veel küllaldaselt selgitada kõiki küsimusi, mis kerkivad esile hõljuva kihi kasutamisel, eriti selliste füüsikalise-keemiliste protsesside puhul, nagu väävelvesiniku adsorptsioon, kus koos

adsorptsiooniga esineb ka adsorbeerunud aine katalüütiline oksüdatsioon adsorbendi pinnal.

Lähtudes eelpooltoodust, seati käesoleva töö ülesandeks selgitada mõningaid küsimusi, mis on seotud adsorptsiooni-protsesside läbiviimisega hõljuvas kihis ning uurida väävelvesiniku eraldamise võimalusi gaaside segust hõljuva adsorbendikihi kasutamise korral.

2. Adsorptsiooni-protsessi teoreetilistest alustest

Adsorptsiooninähtuste selgitamiseks on püstitatud mitmeid teoreetilisi seisukohti, olenevalt adsorbeeritava aine sidumise iseloomust tahke aine - adsorbendiga. Ükskõik, milline aga oleks adsorptsiooni mehhanism mitmesuguste erinevate teoreetiliste seisukohtade alusel, adsorbeerunud aine hulk mingi konkreetse adsorbendi puhul on sõltuv adsorbeeritava aine partsiaalarõhust ehk kontsentratsioonist gaasisegus ja adsorptsiooni temperatuurist ning on väljendatav järgneva seosega

$$a = f(p, t) \quad (1)$$

milles a - adsorbeerunud aine kogus adsorbendi ühe kaalu või mahuühiku kohta

p - adsorbeeritava aine partsiaalarõhk lähtegaasis

t - protsessi temperatuur.

Adsorptsiooniprotsessi läbiviimisel isotermilistes tingimustes, see tähendab konstantsel temperatuuril, adsorbeeritud aine hulk sõltub ainult partsiaalarõhust ja seose (1) võib avaldada kujul

$$a = f(p)_t = \text{konst.} \quad (2)$$

Seos (2) iseloomustab adsorptsiooni-protsessi tasakaalu erinevatel adsorbeeritava aine partsiaalrõhkudel konstantsel temperatuuril. Seose (2) graafilist lahendust nimetatakse adsorptsiooni isotermiks. Adsorptsiooni isotermid koostatakse katselisel teel iga adsorbeeritava aine ja adsorptsiooniks kasutatava adsorbendi kohta eraldi. Mitmed autorid on uurinud adsorptsiooni isoterme, mis leiti erinevate ainete adsorptsioonil mitmesugustel adsorbentidel ning püüdnud täpsustada võrrandi (2) matemaatilist kuju. Seose (2) avaldatud võrrandit võib praktikas kasutada adsorptsiooni tasakaalu arvutamiseks konkreetsetes tingimustes.

Nii on ühe silmapaistvama adsorptsiooni uurija *Langmuir*'i (9) poolt antud teoreetilist põhjendatud tasakaalu võrrand

$$a = \frac{ABp}{1 + Ap} \quad (3)$$

milles a - adsorbeerunud aine hulk adsorbendi ühiku kohta

A ja B - konstandid, mis iseloomustavad adsorbendi ja adsorbeeritava aine omadusi

p - adsorbeeritava aine partsiaalrõhk

Adsorbeeritava aine madalatel partsiaalrõhkudel võrrand (3) oleks avaldatav kujul

$$a = ABp \quad (4)$$

Võrrand (4) on sirgjoone võrrand ja näitab, et adsorbeeritava aine madalate partsiaalrõhkude piirkonnas adsorbeeritava aine kogus oleneb lineaarselt partsiaalrõhust.

Adsorbeeritava aine suurte partsiaalrõhkude puhul
võrrand (3) väljenduks järgmiselt

$$a = B \quad (5)$$

Võrrand (5) iseloomustab olukorda, kus adsorbent
küllastatakse adsorbeeritava ainega.

Langmuir'i võrrand (3) adsorptsiooni tasakaalu arvu-
tamiseks annab rahuldavaid tulemusi paljudel juhtudel, pea-
miselt nn. monomolekulaarse adsorptsiooni puhul. Juhul,
kui katseliselt määratud adsorptsiooni isoterm ei näita
ühtlast ja pidevat muutumist kõigi adsorbeeritava aine
partsiaalrõhkude piirides, st. esineb nn. polümolekulaar-
ne adsorptsioon (S kujulised isotermid), võrrand (3) ei
ole adsorptsiooni tasakaalu arvutamiseks rakendatav.

F r e u n d l i c h (10) annab adsorptsiooni-prot-
sessi võrrandi järgmisel kujul

$$x = ap^{1/n} \quad (6)$$

milles x - adsorbeerunud aine hulk adsorbendi ühiku kohta

p - adsorbeeritava aine partsiaalrõhk lähtegaasis

a, n - konstandid, mis olenevad adsorbeeritava aine

ja adsorbendi omadustest.

Olgugi, et Freundlichi tasakaalu võrrand (6) omab
empiirilist iseloomu, annab see paljudel juhtudel häid
tulemusi gaaside adsorptsiooni tasakaalu määramisel.

Enamik uurimistöid näitab, et adsorptsiooni tasakaa-
lu saavutamine adsorbendi ja adsorbeeritava aine kokkupuu-
te pinnal toimub väga kiiresti ning protsessi kiirus ei
mõjuta adsorptsiooni tasakaalu.

Adsorptsiooni-protsess kuulub difusioonsete protses-

side hulka, kus massivahetus ühest keskkonnast teise toimub difusiooni teel.

Adsorbeeritud aine hulka võib arvutada massiülekan-
de põhivõrrandi abil

$$G = \beta_1 F(c_0 - c_1)t \quad \text{või}$$

$$G = \beta_2 V(c_0 - c_1)t \quad (7)$$

milles G - adsorbeerunud aine hulk

F - adsorbendi aktiivne pind

V - adsorbendi maht

c_0 - adsorbeeritava aine kontsentratsioon lähte-
gaasis

c_1 - adsorbeeritava aine kontsentratsioon lähte-
gaasis tasakaalu olekus

β_1 ja β_2 - massiülekan-
de koefitsiendid adsorbendi
aktiivse pinna või mahuühiku kohta

t - adsorptsiooni aeg.

Nagu eelpooltoodud võrrandist (7) selgub, sõltub
adsorptsiooni kiirus peamiselt massiülekan-
de koefitsien-
dist β . Viimane aga omakorda adsorptsioonisüsteemi
geomeetrilistest ja füüsikalise-keemilistest parameetri-
test ning protsessi hüdrodünaamilisest režiimist. Seega
võrrand, mis iseloomustaks adsorptsiooniprotsessi kinee-
tikat, peab siduma massiülekan-
de koefitsienti ülalpool-
mainitud parameetritega.

Adsorptsiooniprotsessi teoreetilise analüüsi tule-
muste alusel on Smirnovi (11) poolt leitud kriteeriaal-
ne olenevus massiülekan-
de koefitsiendi iseloomustamiseks

$$Kl' = f(Re, Pr', C, G_1, G_2) \quad (8)$$

milles $Kl' = \frac{\beta d^2}{D}$ - Kirpitsõvi kriteerium adsorbendi mahu kohta,

β - massiülekanne koefitsient, sek⁻¹

d - seadme läbimõõt, m

D - difusiooni koefitsient m²/sek.

$Re = \frac{wd}{\nu}$ - Reynolds'i kriteerium,

milles w - gaasilise keskkonna liikumise lineaarkiirus seadmes, m/sek.

ν - gaasilise keskkonna kinemaatiline viskoossus, m²/sek.

$Pr' = \frac{\nu}{D}$ - Prandtl'i difusiooni kriteerium

C - kontsentratsiooni kriteerium, mis väljendatakse murruga $\frac{C}{\Delta C}$.

milles

C - adsorbeeritava aine kontsentratsioon lähtegasis, kg/m³.

ΔC - protsessi keskmine liikumapanev jõud.

$G_1 = \frac{d}{h} - 1$. geomeetrilise sarnasuse kriteerium,

milles h - adsorbendi kihi kõrgus, m

$G_2 = \frac{d_0}{d}$ - 2. geomeetrilise sarnasuse kriteerium,

milles d_0 - adsorbendi osakese läbimõõt, m

Kirpitsõvi kriteeriumis esineva massiülekanne koefitsiendi β määramine on seotud raskustega, kuna sõltub adsorbendi omadustest, peamiselt aktiivsest pinnast, mille määramine on raskendatud.

Sellepärast teevad Smirnov ja Ljubinov (11,12) ettepaneku väljendada massiülekanne koefitsienti β dimensionaalsusega sek.^{-1} , s.t. vaadelda teda kui aine hulka, mis adsorbeeritakse ajaühikus adsorbendi ühiku poolt juhul kui adsorptsiooniprotsessi m. liikuma panev jõud oleks võrdne ühega.

Sealjuures teevad autorid veel ettepaneku väljendada adsorptsiooniprotsessi puhul m. keskmist liikuma panevat jõudu adsorbendi staatilise ja dünaamilise aktiivsuse kaudu järgmiselt

$$\Delta C = \frac{a_d}{2,318 \frac{a_s}{a_s - a_d}} \quad (9)$$

kus a_d - adsorbendi dünaamiline aktiivsus, kg/m^3
 a_s - adsorbendi staatiline aktiivsus, kg/m^3 .

Adsorbendi staatilise aktiivsuse all mõistetakse seda adsorbeeritava aine hulka, mis küllastab adsorbendi ühe kaaluühiku täielikult. Dünaamiline aktiivsus iseloomustab adsorbeeritud aine hulka adsorbendi ühe kaaluühiku kohta, tegeliku adsorptsiooni protsessi tingimustes, s.o. arvestades hüdrodünaamilisi tingimusi, adsorbeeritava aine kontsentratsiooni ja adsorbendi kihi geomeetrilisi mõõtmeid.

Praktilistes tingimustes pakub peamist huvi adsorbendi dünaamilise aktiivsuse arvutamine.

Smirnov ja Ljubinov leiavad, et adsorptsiooni arvutamine massivahetuse võrrandi abil ja massiülekanne koefitsiendi kaudu on arvutustehnilisest küljest raskendatud. Tunduvalt lihtsam on adsorptsiooni protsessi arvutamine ja iseloomustamine adsorbendi dünaamilise aktiivsuse kau-

du.

Smirnov ja Ljubimov näitavad, et adsorbendi dünaamiline aktiivsus oleneb staatilisest aktiivsusest a_1 , gaasi viskoossusest ν , adsorbeeritava aine kontsentratsioonist c , voolu kiirusest adsorbendi kihis w , seadme läbimõõdust d , adsorbendi osakese läbimõõdust d_0 ja kihi kõrgusest h , seega

$$a_d = f(a_s, \nu, c, w, d, h, d_0) \quad (10)$$

Andes olenevuse (10) kriteeriumite ja simpleksite kaudu, saame

$$\frac{a_s - a_d}{a_d} = f(Re, C, G_1, G_2) \quad (11)$$

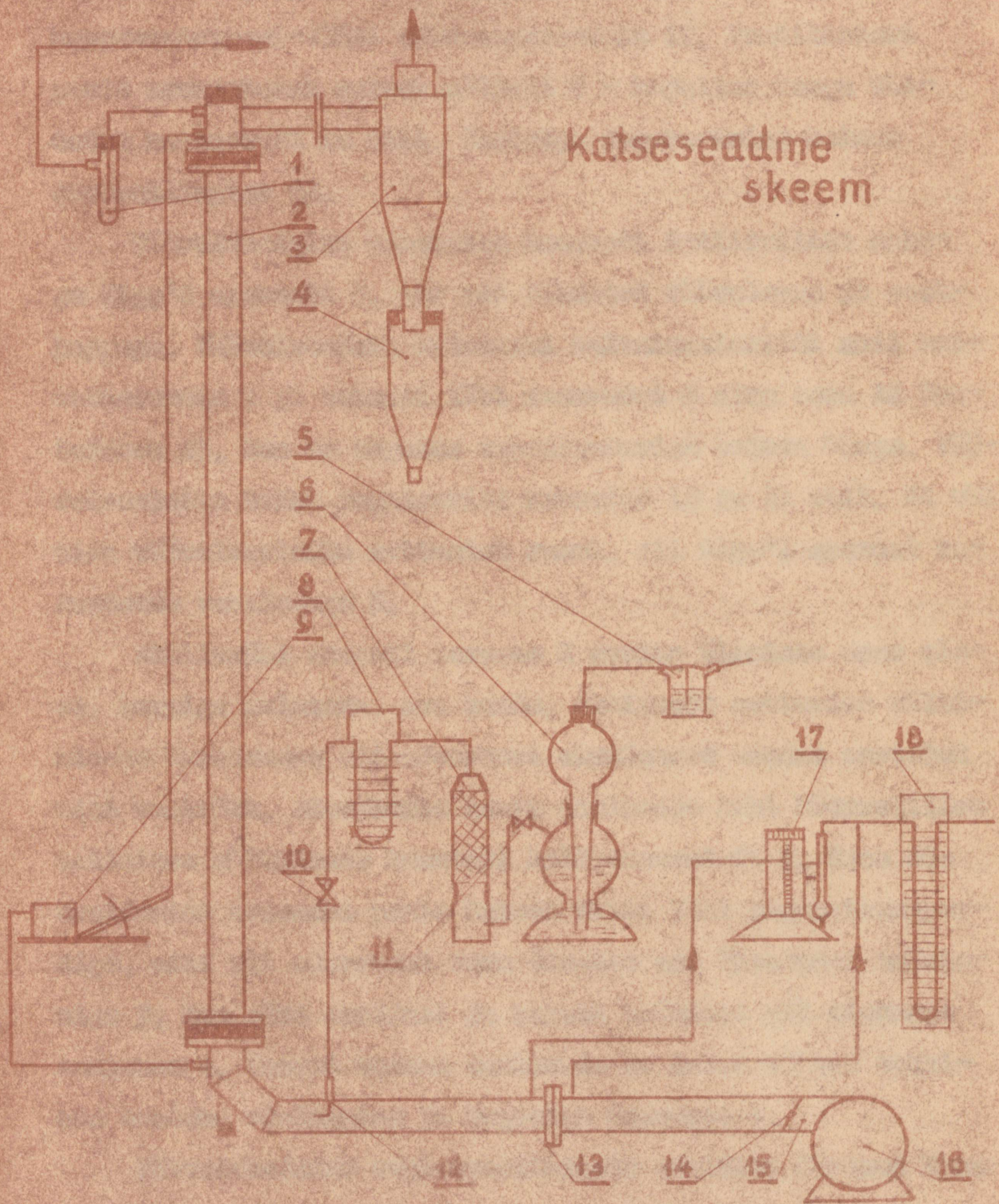
ehk

$$\frac{a_s - a_d}{a_d} = a Re^x C^y G_1^z G_2^u \quad (12)$$

Kriteerianalüüsi (12) konstandi numbrilised väärtused on määratud katselisel teel Smirnovi ja Ljubimovi (11) poolt.

3. Katseseadme kirjeldus.

Käesolevas töös kasutati väävelvesiniku adsorbeerimiseks aktiivsõel hõljuvas kihis TPI keemilise tehnoloogia kateedris ehitatud katseseadet, mille skeem on toodud joonisel 1. Adsorbentina kasutati 140 cm pikkust klaastoru dia-meetriga 45 mm 2, milline ühendati flantside abil õhutoruga 15. Õhu ja väävelvesiniku segu suunamiseks adsorptsiooniseadmesse kasutati neljaastmelist ventilaatorit 16, tootlikkusega ca 30 m³/h. Seadmesse antava õhuhulga mõõtmiseks



Joonis 1.

kasutati diagragmat 13 ja survekao mõõtmiseks diafragmas kompensatsioonitüüpi mikromanomeetrit 17. Ventilaatori poolt arendatavat survet mõõdeti U - kujulise veega täidetud manomeetri 18 abil. Õhuhulga reguleerimine toimus drosselklapiga 15.

Väevelvesiniku saamiseks kasutati 2-liitrilise mahuga Kipp'i aparaati 6, mis oli täidetud väevelraua ja soolhappega. Väevelvesinik kuivatati kaltsiumkloriidi abil kuivatustornis 7 ja suunati läbi reomeetri 8 ning toru 12 õhutorusse 15, kus ta segunes ventilaatorist tuleva õhuga. Väevelvesiniku hulka reguleeriti kraanide 10 ja 11 abil. Et vältida väevelvesiniku sattumist ruumi, oli Kipp'i aparaat varustatud vesilukuga 5.

Aktiivsüsi asetati torusse 2 seadme ülemises osas oleva, korgiga suletava, ava kaudu. Aktiivsöe sattumise vältimiseks õhutorusse oli adsorberi alumisesse osasse asetatud tihed vaskvõrk. Adsorberis asuva aktiivsöe kihi hüdraulilise takistuse mõõtmiseks kasutati kaldmanomeetrit 9. Kuna söe eraldamine seadmest peale katset viidi läbi pneumotranspordiga, siis oli adsorberi toru ülemine osa ühendatud tsükloniga 3, kus süsi eraldati ja koguti tsükloni all olevasse anumasse 4. Samuti toimus tsüklonis ka katse vältel tekkinud söetoru eraldamine ja kogumine anumasse 4.

Väevelvesiniku registreerimiseks söekihti läbinud õhus juhiti osa väljuvat õhku veejoapumba abil läbi indikaatoritoru 1, mis oli täidetud ammoniummolüütaadi väevelhappelise lahusega.

4. Katsete teostamise metoodika.

Adsorptsiooni katsed viidi läbi väävelvesiniku ja õhu seguga, kusjuures väävelvesiniku kontsentratsioon õhusegus oli erinevatel katsetel 0,23 - 0,99% (mahuliselt) väävelvesiniku. Enamiku katsete puhul kasutati adsorbendina sõjaväe gaasikurnadest eraldatud aktiivsütt tera suurusega 2 mm ja puistekaaluga 0,88 g/cm³. Mõningate katsete puhul kasutati ka aktiivsütt BAY tera suurusega 2-3 mm ja puistekaaluga 0,28 g/cm³.

Katsed väävelvesiniku adsorbeerimiseks aktiivsütel teostati nii hõljuvas kui ka statsionaarses kihis asuva adsorbendiga. Üksikutel katsetel kasutati sühulki 56 kuni 250 grammi. Väävelvesiniku ja õhu segu kiirust adsorptsioonitorus varieeriti 0,4 kuni 1,8 m/sek. piires.

Katse läbiviimiseks asetati adsorberisse kaalutud kogus aktiivsütt ning seejärel käivitati ventilaator. Väävelvesinik-õhusegu kiirust, mis oli vajalik antud aktiivsöe koguse viimiseks hõljuvasse olekusse, reguleeriti drosselklapiga. Kiht loeti hõljuvaks siis, kui manomeetri abil mõõdetav aktiivsöe kihi hüdrauliline takistus muutus konstantseks, s.t. et aktiivsöe kihi hüdrauliline takistus ei sõltunud enam seadmest läbivoolava väävelvesinik-õhusegu kiirusest. Teraalse materjali hüdrauliline takistus õhu või gaasivoolule on avaldatud võrrandiga (5)

$$p = A \frac{S}{F} \text{ kg/m}^2 \quad (13)$$

milles S - seadmes oleva materjali kaal, kg

F - adsorberi põiklõike pind, m²

A - konstant.

Hõljuva kihi korral hüdrauliline takistus on aga

$$p = \text{konst.}$$

(14)

Peale õhuvoolu reguleerimist katserežiimile, juhiti õhutorusse Kipp'i aparaadist väävelvesinik. Väävelvesiniku kogus oli eelnevalt arvutatud vastavalt õhu hulgale ja seda reguleeriti ruomeetri abil. Momenti, millal väävelvesinik juhiti seadmesse, loeti kätte alguseks. Katse lõpuks aga momenti, mil väävelvesiniku jälgi märgiti adsorbendi kihist läbitulevas õhusegus. Väävelvesiniku määramiseks adsorbenti läbinud õhus kasutati 5%-list ammooniummolübdiaadi lahust ca 22%-lises väävelhappes, mis väävelvesiniku toimele värvub siniseks. Literatuurandmeid (14) on ammooniummolübdiaadi väävelhappeline lahus kõrge tundlikkusega väävelvesiniku suhtes. Nii näiteks juba väävelvesiniku kontsentratsioonil $0,02 \text{ mg/m}^3$ õhus toimub lahuse lagunemine.

Iga katse puhul määrati

- 1) katse kestvus
- 2) seadet läbinud õhu hulk
- 3) väävelvesiniku hulk
- 4) adsorbendi kogus
- 5) adsorbendi kihi kõrgus statsionaarses ja hõljuvas olekus
- 6) kihi hüdrauliline takistus.

Katsetest saadud andmed on toodud tabelis 1.

Väavelvesiniku adsorptsiooni katsete andmed ja tulemused.

Tabel I

Nr.	Aktiivsöe kogus g	Ohu kiirus m/sek.	Ohu kiirus l/min.	H ₂ S hulk l/min.	H ₂ S konts. gaasi saigus %	Aktiivsöe kihi kõrgus st. kihis mm	Aktiivsöe kihi kõrgus keevas kihis mm	Katse kestvus min.	Adsorbeerunud H ₂ S hulk g	Adsorbeerunud H ₂ S hulk söele %	Dun. akt. %-des staa-tilisest
1.	194,9	0,537	51,2	0,35	0,68	135	150	35,00	18,6	9,55	47,9
2.	212,0	0,577	55,4	0,50	0,90	155	180	25,50	19,4	9,15	45,9
3.	80,4	0,775	74,3	0,40	0,54	55	65	5,00	3,02	3,76	18,8
4.	148,3	0,64	61,2	0,40	0,65	110	135	10,00	6,04	4,08	20,5
5.	123,0	0,770	74,0	0,35	0,47	90	110	8,20	4,15	3,36	16,8
6.	126,2	1,81	173,0	0,40	0,23	92	145	0,30	0,18	0,14	0,17
7.	101,6	0,42	40,5	0,40	0,4	75	85	10,33	6,27	6,16	30,9
8.	180,4	0,46	44,0	0,35	0,35	135	-	36,05	19,2	10,4	52,5
9.	199,6	1,40	134,0	0,48	0,35	145	200	1,36	1,0	0,50	2,5
10.	248,6	1,40	134,0	0,48	0,35	180	260	1,07	0,78	0,30	1,5
11.	219,6	0,521	49,5	0,25	0,50	160	180	62,8	23,95	10,90	54,7
12.	80,7	0,410	39,8	0,20	0,50	55	-	21,66	66,0	8,20	41,2
13.	212,6	0,400	38,3	0,17	0,45	150	-	105,33	27,2	12,80	64,3
14.*	66,1	0,499	47,6	0,45	0,94	150	200	5,00	3,41	5,20	-
15.*	66,1	0,499	47,6	0,45	0,94	155	-	0,75	-	-	-
16.*	56,1	0,478	45,8	0,45	0,99	125	165	1,00	0,69	1,22	-
17.*	86,4	0,60	55,9	0,30	0,53	195	-	18,95	8,20	9,60	-

*)

Katsed teostati aktiivsöega DAY.

Katseteks kasutatud aktiivsöele määrati staatiline aktiivsus väävelvesiniku suhtes. Aktiivsöe staatilise aktiivsuse määramiseks kasutati seadet, mis koosnes 500 ml mahuga gaasibüretist ja aktiivsöega täidetud ampullist. Gaasibüretist juhiti õhu ja väävelvesiniku segu mahulises vahekorras 5:1 läbi kaltsiumkloriidiga täidetud toru ampulli, kus asetses kaalutud kogus aktiivsütt. Adsorptsiooni staatilise aktiivsuse määramiseks kuivatatud aktiivsüsi küllastati väävelvesinikuga kuni konstantse kaaluni. Peale adsorptsiooni aktiivsüsi kuivatati, et eraldada katalüütilises oksüdatsiooni protsessis tekkinud vesi, kuna on teada, et reaktsioon toimub järgmise võrrandi kohaselt



Adsorbeerunud väävelvesiniku hulk arvutati söele kogunenud väävli kaalu järgi. Aktiivsöe staatilise aktiivsuse määramise katseandmed ja neist arvutatud tulemused on toodud tabelis 2.

Aktiivsöe staatilise aktiivsuse määramise tulemused.

Tabel 2.

Nr.	Kui- va söe kaal g	Söe kaal peale ads. g	Söe kaal peale kuiva- tamist g	Väävli kaal söel g	Niisku- se kaal söel g	Adsor- beeru- nud H ₂ S ko- gus g/g söe k.	Adsorbeerunud H ₂ S kogus % söe kaalust
1.	0,4418	0,5696	0,5234	0,0816	0,0462	0,1970	19,70
2.	0,5166	0,6690	0,6145	0,0979	0,0545	0,2010	20,10
Keskml.							19,9%



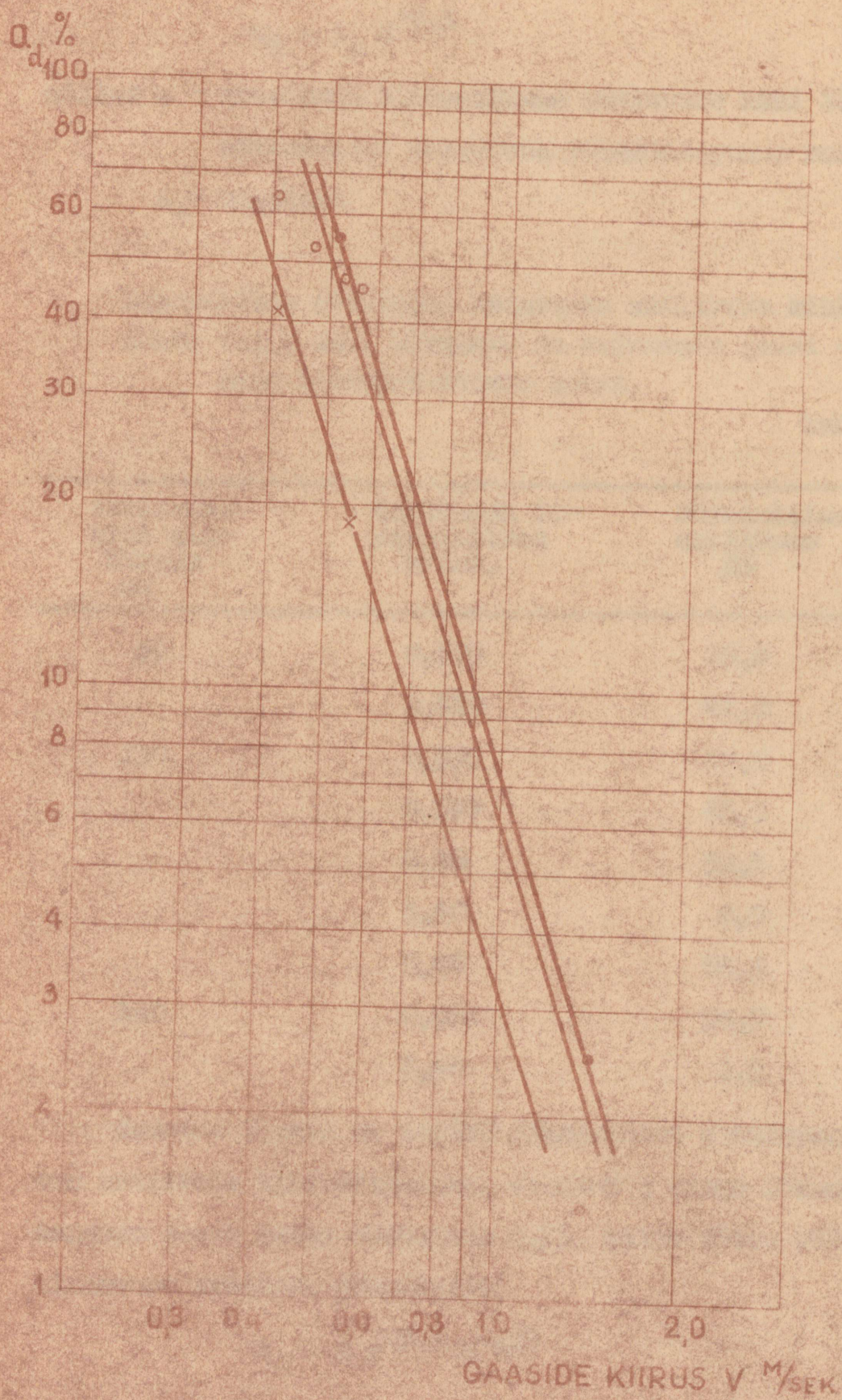
Tabelis 2 toodud andmeist selgub, et kasutatud aktiivsüsi omab suhteliselt madalat aktiivsust 19,9% väävelvesiniku suhtes. Samal ajal on teada, et tööstuses selleks otstarbeks kasutatavate aktiivsüte staatiline aktiivsus ulatub kuni 150%-ni (3).

5. Katsetulemuste analüüs.

Katsed olid teostatud tingimistel, mis lubavad hinnata aktiivsüte adsorptsiooni dünaamilist aktiivsust väävelvesinikuühusegu suhtes, olenevalt gaaside segu kiirusest aktiivse kihi läbimisel, kui ka aktiivsüte kihi algkõrgusest.

Uurimistööks saadud katseandmeid võib liigitada, olenevalt aktiivsüte kihi lähtekõrgusest, kolme rühma. Katsed, mille aktiivsüte kihi kõrgus statsionaarses olekus oli kuni 55 mm, katsed kihi kõrgusega 150 mm ja katsed kihi kõrgusega kuni 160 mm. Vastavalt eelpooltoodud liigitusele on katsete tulemused selles järjekorras esitatud tabelis 3.

Tabelis 3 toodud katseandmed on esitatud graafiliselt joonisel 2. Joonisel 2 on graafiliselt esitatud aktiivsüte dünaamiline aktiivsus olenevalt väävelvesinikuühusegu lineaarkiirusest, millega segu läbib adsorptsioonil aktiivsüte kihti erinevate kihi kõrguste puhul. Ehkki väga täpseks olenevuse hindamiseks on katseandmeid suhteliselt vähe, on nende kaudu siiski võimalik püstitada seadusepürasus dünaamilise aktiivsuse, gaasi lineaarkiiruse ja aktiivsüte algihi kõrguse omavahelise olenevuse vahel. Joonisel 2 toodud sirgete tõusunurkade tangensite kaudu võime avaldada olenevuse järgmiselt



JOONIS 2.

$$a_d = A_1 w^{-3,1} \quad (15)$$

milles w - gaasisegu lineaarküürus aktiivsöe kihi läbimisel, arvestatuna adsorberi ristlõikepinna kohta

A_1 konstant

Dünaamiline aktiivsus erinevate aktiivsöe kihi lihte (alg) kihi kõrguste ja erinevate gaasi - segu lineaarküüruste puhul.

Tabel 3.

Aktiivsöe kihi alg- kõrgus mm	Gaasisegu li- neaarküürus m/sek.	Dünaamiline aktiivsus %
55	0,775	18,8
	0,410	41,2
150	0,537	47,9
	0,577	45,9
	0,46	52,5
	1,40	2,5
	0,40	64,3
160	0,521	54,7
	1,40	1,5

Joonise 3 abil on leitud dünaamilise aktiivsuse olenevus aktiivsöe kihi kõrgusest. Joonise 3 sirge tõusunurga tangens annab astme näitajaks 0,75, mille tõttu võib kogu olenevuse avaldada järgniselt

$$a_d = A w^{-3,1} h^{0,75} \quad (16)$$

milles a_d - dünaamiline aktiivsus

A - olenevuse numbriline konstant

h - aktiivsuse kihi algkõrgus

Joonisel 3 toodud sirge on konstrueeritud konstantse gaasisegu lineaarkliiruse juures, milleks valiti $w = 0,6$ m/sek.

Olenevus (16) kehtib piirides

$$0,4 < w < 1,8$$

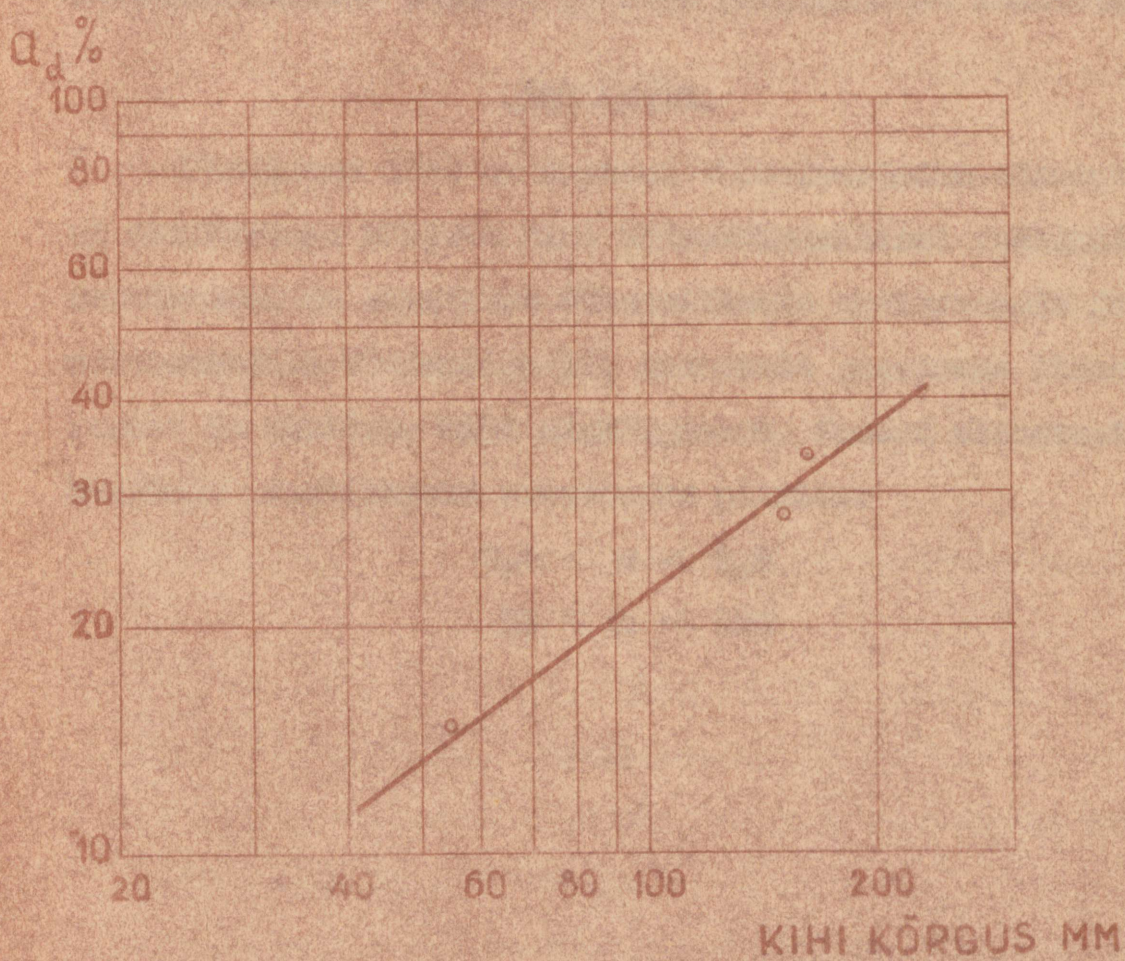
$$55 < h < 160$$

kasjuures adsorptsiooniseadme diameeter oli 45 mm, see on piirides, milliseid kasutati katsete teostamisel.

Kagu selgus, adsorptsiooni protsessi visuaalsest jälgimisest, on saadud tulemused mõõdetud hõljuva kihi hüdrodünaamilise režiimi juures. Katseteks kasutatud väävelvesinik-õhusegu lineaarkliirused hõljuva kihi hüdrodünaamilise režiimi puhul vastavad õhu kliirustele, mida kasutatakse nn. vahupaaratides (13). Selletõttu võib tahke aine puhul esinevat hõljuva kihi hüdrodünaamilist režiimi lugeda analoogiliseks vahurežiimiga, mis esineb õhu läbijuhtimisel vee kihist.

Katseandmed joonisel 3 väiksemate gaasisegu lineaarkliiruste puhul ($0,4 - 0,6$ m/sek.) näitavad väiksemat tõusu, kui neid ühendada sirgega. See oleks iseloomulik hüdrodünaamilisele režiimile, mis eelneb nn. hõljuva kihi hüdrodünaamilisele režiimile. Ka visuaalsed vaatlused kinnitavad seda, sest nimetatud lineaarkliiruste puhul oli märgata ainult suhteliselt väikeste aktiivsuse kihi pealmiste osakeste hõljumist.

Väävelvesiniku adsorbeerimisel aktiivsusega hõljuva kihi hüdrodünaamilise režiimi puhul väheneb aktiivsuse dünaamiline aktiivsus läbijuhitava gaasisegu lineaarkliiruse suurenemisel



JOONIS 3.

suhteliselt suures progressioonis. Selletõttu on vajalik nimetatud protsessi, s.t. väävelvesiniku adsorptsiooni aktiivsõega - üldiseks hindamiseks uurida kõiki adsorptsiooni hüdrodünaamilisi režiime ja neid põhjustavaid faktoreid.

Kokkuvõte

Käesolevas töös on uuritud väävelvesiniku adsorptsiooni aktiivsõega hõljuva kihi hüdrodünaamilisel režiimil. Katsetulemused on arvutatud dünaamilisele aktiivsusele ja antud matemaatilise võrrandiga (16), olenevalt gaasisegu lineaarkii-
rusest ja aktiivse kihi algkõrgusest. Saadud olenevust võib kasutada praktiliseks arvutuseks piirides

$$0,4 < w < 1,8$$

$$55 < h < 160$$

Kasutatud kirjandus

1. П.Г.Романков, В.Н.Лепилин, Е.С.Немет,
Вопросы массопередачи. Научно-техн. конф. 1956г. МВО СССР
Г У Т В. Госхимиздат 1957г. Ленинград.
2. П.Г.Романков, В.Н.Лепилин, Е.С.Немет,
Труды ЛТИ им.Ленсовета. Выпуск XXXIX - 28 Госхимиздат,
1957г. Ленинград.
3. М.Б.Рапопорт. Искусственное жидкое топливо ч. II.
Гостоптехиздат 1950. Москва - Ленинград.
4. Е.Н.Серпионова. Промышленная адсорбция газов и паров.
Госхимиздат. 1956. Москва.
5. О.М.Тодес, А.К.Бондарева, Химическая наука и промышленность
8, № 2. 1к. 223. 1957г.
6. Г.К.Боресков, М.Г.Слинько, Химическая промышленность, № 6, 1к.1.
1957г.
7. П.Г.Романков, Е.С.Немет, Труды ЛТИ им.Ленсовета. Вып. XXXIX.
1к.34. Госхимиздат. 1957г. Ленинград.
8. И.М.Федоров, Теория и расчет сушки во взвешенном слое.
Госэнергоиздат, 1955 Москва.
9. C.Langmuir, J.Am.Chem.Soc. 38, 2267(1916); 39, 1883; (1917)
40, 1361; (1918).
10. L.Freundlich, Kapillarchemie. Akad.Verlag.Gesellschaft, 1922
Berlin.
11. И.В.Любимов, Н.И.Смирнов, ЖПХ 30 № 9 1к.1408. 1957.
12. И.В.Любимов, Н.И.Смирнов. ЖПХ 30, № 9 1к. 1408, 1957г.
13. М.Е.Позин, М.П.Мухомов, Е.С.Тумаркина, Э.Я.Тарат
Ценный способ обработки газов и жидкостей.
Госхимиздат, 1955г. Ленинград.
14. H.Strattmann. Mitt.Ver.Grosskessel besitzer. 1к. 396, 1953.a.
15. L.Reeve. Brit. 719.056. Nov.24, 1954. Chem.Abs. 49, 7228;(1955).

