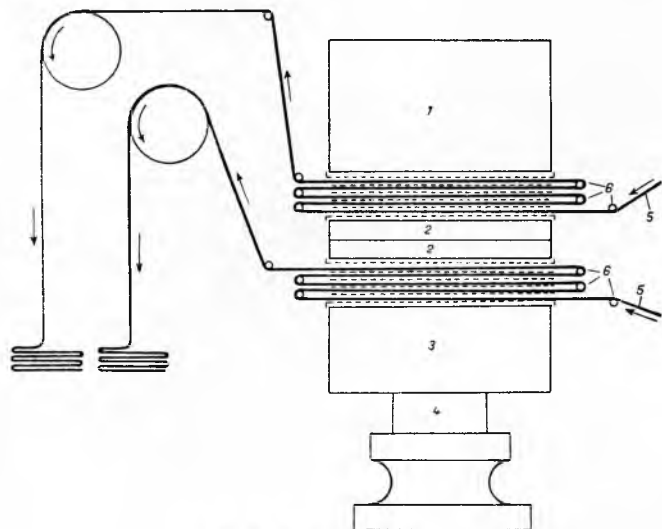


vlage. U hidrauličnoj *vertikalnoj preši* glača se odjednom čitav komad tkanine, složena u slojeve među kojima se nalaze električni grijani tlačni papiri od glaziranog kartona. Pritisak iznosi 30...50 kp/cm², a tkanina se zagrijava u preši od 10 min do 3 sata. Nakon jednog prešanja tkanina se presloži tako da rubovi što su stršili iz preše dođu u sredinu. Automatska kontinuirana preša (sl. 34) ima čvrstu gornju ploču 1, središnju ploču 2 i pokretnu ploču 3. Sve se ploče mogu grijati. Klip 4 ispod pokretne ploče izvodi potreban pritisak. Tkanina 5 prolazi među pokretnim pločama s pomoću vodnih valjaka 6 i vraća se tako da nastane peterostruki sloj koji se istovremeno tiješti. Kad prestane pokret



Sl. 34. Preša za glačanje

tkanine primijeni se pritisak i takav se ciklus ponavlja 4 puta u minuti. *Okretna (žljebasta) preša* (njem. Muldenpresse) sastoji se od šupljega željeznog valjka grijanog parom, koji se okreće u parom grijanom žlijebu. Tkaninu vuče okretanje valjka, a pokretni žlijeb tlači na valjak sa 35...70 kp/cm². Tkanina prolazi kroz prešu kontinuirano brzinom od 5...10 m/min. Zbog stanovitog istežanja ne prešaju se na ovom stroju najbolje tkanine.

LIT.: J. T. Marsh, An introduction to textile bleaching, London 1948. — J. T. Marsh, An introduction to textile finishing, London 1948. — L. Disserens, Neueste Fortschritte und Verfahren in der chemischen Technologie der Textilfasern, Basel 1949. — G. Melzer, Handbuch für die textile Na²veredlung, Berlin 1956. — Ф. И. Садов, М. В. Корчагин, А. И. Матецкий, Химическая технология волоконистых материалов, Москва 1958. — W. Bernard, Appretur der Textilien, Berlin 1960. M. Z.

APSORPCIJA PLINOVA, operacija kemijske tehnike kojom se iz plinovitih smjesa odvajaju pojedine sastojine na osnovu njihove topljivosti u tekućinama. Ta se operacija danas redovito provodi kontinuirano i u protustruji: plinovita smjesa vodi se ususret struji tekućine (otapala, *apsorbenta*) na takav način da je kontakt među njima što prisniji i da je dovoljnom razlikom između koncentracija topljive sastojine u objema fazama osiguran stalan prelaz te sastojine iz plinovite u tekuću fazu. Iz dobivene otopine često se apsorbirana sastojina istjera (*desorbira*) i otapalo regenerira (reaktivira) povišenjem temperature, smanjenjem pritiska i/ili stripovanjem inertnim plinom. *Stripovanje* predstavlja operaciju suprotnu apsorpciji: pri njoj struja inertnog plina prima topljivu sastojinu iz struje tekućine s kojom je dovedena u prisan dodir. Ponekad se desorpcija stripovanjem primjenjuje i kao samostalna operacija, nezavisna o apsorpciji.

Apsorpcija je jedna od najranije i najčešće upotrebljivanih operacija kemijske tehnike. Primjeri za njezinu primjenu jesu: pranje plinova radi uklanjanja onečišćenja u njima; rekuperacija hlapljivih otapala iz uzduha radnih prostorija; dobivanje anorganskih komponenata iz plinova koji nastaju kao glavni ili otpadni produkti mnogih industrijskih procesa, npr. klora iz otpadnih plinova kloriranja, dušičnih oksida iz plinova od oksidacije amonijaka, ugljičnog dioksida iz otpadnih plinova peći vapnenica i procesa vrienja; uklanjanje produkata iz cirkulacionih i konačnih plinova u organskim sintezama; degazolinaža zemnog plina; do-

bivanje produkata iz plinova koji nastaju krekoivanjem i pri rafiniranju nafte. Primjeri za samostalnu desorpciju jesu: dobivanje amonijaka iz amonijačne vode i ovlaživanje uzduha.

Podlogu za projektiranje i proračun postrojenja za apsorpciju predstavljaju: a) podaci o ravnoteži između plina i otopine koji sadržavaju apsorbiranu sastojinu, b) podaci o brzini prelaza mase iz jedne faze u drugu kad one nisu u ravnoteži, c) podaci o otporu protiv strujanja fluida u postrojenju i d) termički podaci o apsorbiranoj supstanciji, apsorventu i otopini jedne u drugom. Podaci pod a) omogućavaju izbor najpogodnijeg apsorventa i izračunavanje količine otapala potrebne za apsorbiranje određene količine plina, s pomoću podataka pod b) izračunavaju se dimenzije aparature, s pomoću podataka pod c) potrebna snaga za pokretanje fluida kroz aparaturu, a s pomoću podataka pod d) količina topline potrebna za regeneraciju apsorventa.

RAVNOTEŽA APSORPCIJE

U idealnom slučaju možemo smatrati: da se u apsorventu otapaju isključivo one sastojine plinske smjese koje želimo iz nje ukloniti, dok su ostale sastojine prema apsorventu inertne; da je apsorvent potpuno nehlapljiv, tj. da je njegova koncentracija u plinovitoj fazi jednaka nuli; da na topljivost pojedine sastojine plinske smjese nema utjecaja prisutnost ostalih sastojina. U tom slučaju (koji je u praksi samo približno realiziran) ravnoteža je apsorpcije određena podacima o ravnoteži između pojedinih topljivih sastojina i apsorventa.

Pri apsorpciji plinova i para može se razlikovati *fizičko otapanje* plina u tekućini (npr. otapanje kisika u vodi) i *otapanje uz kemijsku reakciju* (npr. otapanje ugljičnog dioksida u lužini). Fizička je otopina *idealna* kad između molekula otapala i molekula otopljene tvari djeluju samo čisto fizičke (van der Waalsove) sile, u neidealnoj fizičkoj otopini među tim molekulama djeluju slabe kemijske sile koje uzrokuju npr. agregacije; pri otapanju uz kemijsku reakciju veza između apsorventa i apsorbirane tvari prvenstveno je ostvarena kemijskim silama.

Fizičko otapanje plina. Kao što za svaku čistu tekućinu postoji na određenoj temperaturi određeni napon (pritisak) para pod kojim se isto toliko pare kondenzira koliko se tekućine ispari, tako i za svaku otopinu nekog plina postoji na određenoj temperaturi i za određenu koncentraciju otopine određeni ravnotežni parcijalni pritisak plina nad otopinom, pod kojim se isto toliko plina otapa koliko ga iz otopine izlazi. Kad je taj ravnotežni parcijalni pritisak malen, kaže se da je plin lako topljiv u tekućini; kad je velik, kaže se da je plin u tekućini slabo topljiv. Nalazi li se neki plin u kontaktu s tekućinom koja ga može otopiti, on prelazi u otopinu dok mu se parcijalni pritisak iznad tekućine ne smanji a koncentracija u otopini ne poveća toliko da se uspostavi ravnoteža, tj. toliko da parcijalni pritisak nad otopinom odgovara ravnotežnom pritisku za postignutu koncentraciju na datoj temperaturi. Ako je parcijalni pritisak iznad otopine manji od ravnotežnog za datu koncentraciju plina, plin će izlaziti iz otopine dok mu se parcijalni pritisak nad otopinom ne poveća a koncentracija u otopini ne smanji toliko da se uspostavi ravnoteža.

Ti se odnosi faznih ravnoteža prikazuju redovito *izotermama apsorpcije*, tj. linijama koje prikazuju kako, na određenoj stalnoj temperaturi, parcijalni pritisak plina u ravnoteži s otopinom zavisi o koncentraciji otopine, odnosno — budući da uz dani ukupni pritisak parcijalni pritisak pojedine sastojine određuje njezinu koncentraciju u plinovitoj fazi — kolike su koncentracije dotične tvari u plinovitoj i u tekućoj fazi kad se uspostavi ravnoteža među njima.

Koncentracije je pri tom za različita izračunavanja pogodno izraziti na različite načine. Odnosi ravnoteže često su prikazani jednostavnim zakonima kad se kao mjera koncentracije upotrebljava molni udio (molni razlomak), tj. omjer između broja molova promatrane sastojine i ukupnog broja molova u smjesi (molovi otopljene tvari pro mol otopine). Pri izračunavanju u vezi s promjenama koncentracije koje se zbivaju u toku operacije otapanja korisno je prikazati koncentraciju u jedinicama mase na jedinicu mase otapala (a ne otopine), jer se u tom slučaju količina apsorbirane ili desorbirane tvari izračunava jednostavno kao razlika tako izraženih koncentracija prije i poslije operacije. Za idealne plinove molni je udio po Daltonovu zakonu jednak udjelu parcijalnog pritiska na ukupnom pritisku i udjelu parcijalnog volumena na ukupnom volumu plina.

Kad je otopina plina u tekućini idealna, vrijedi na temperaturama ispod kritične temperature otopljenog plina (koji se u tom slučaju naziva parom) *Raoultov zakon*, po kojemu ravnotežni

parcijalni pritisak pare raste linearno s molnom koncentracijom otopine:

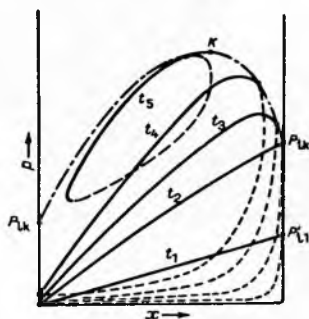
$$p_i = P'_i x_i,$$

gdje je p_i ravnotežni parcijalni pritisak sastojine i nad idealnom otopinom koncentracije x_i , a P'_i ravnotežni napon para čiste sastojine i . S pomoću te jednadžbe može se izračunati ravnotežni pritisak para nad idealnom otopinom za bilo koju koncentraciju ako se zna ravnotežni napon para čiste otopljene tvari na datoj temperaturi. Budući da je po Daltonovu zakonu molni udio sastojine i u plinskoj smjesi $y_i = p_i/P_u$, gdje je P_u ukupni pritisak plinske smjese, slijedi iz Raoultova zakona:

$$\frac{y_i}{x_i} = \frac{P'_i}{P_u}, \quad (1)$$

tj. na danoj temperaturi i pod danim ukupnim pritiskom P_u za idealne plinove i idealne otopine međusobna zavisnost ravnotežnih koncentracija promatrane sastojine u objema fazama prikazana je pravcem ako (i samo ako) su koncentracije izražene kao jedinice mase sastojine po jedinici mase otopine. Kad plin nije idealan, namjesto pritiscima treba se služiti aktivitetima.

Kad je temperatura iznad kritične temperature otopljene tvari, ova ne može postojati u tekućem stanju, tačke P'_i nema i Raoultov zakon ne može vrijediti ni za idealne otopine. Sl. 1 prikazuje krivulje ravnoteže za idealnu binarnu smjesu teško hlapljivog otapala i lako hlapljive otopljene tvari. Do kritične temperature t_2 otopljene tvari može vrijediti Raoultov zakon, iznad te temperature a ispod kritične temperature otapala (npr. na temperaturama t_3 i t_4) apsorpcija se još može provesti jer krivulje polaze od tačke $x = 0$, ali Raoultov zakon ne vrijedi; iznad kritične temperature (npr. na t_5) ne postoji više ni čisto otapalo u tekućem stanju i operacija apsorpcije postaje nemoguća. (Kako se u ovom dijagramu pretpostavlja da je i otapalo u određenoj mjeri hlapljivo, unijete su u njemu, osim izvučenih izoterma koje prikazuju sastav tekućine u ravnoteži s plinskom smjesom određenog pritiska sastojine i , također crtkane linije koje prikazuju sastav plinske smjese u toj ravnoteži.) U području dijagrama iznad krivulje koja spaja kritične tačke na raznim temperaturama (*kritične krivulje*) ne može postojati tekuća faza. Najviši kritični pritisak u tom binarnom sistemu (tačka K) zove se *pritisak konvergencije*.

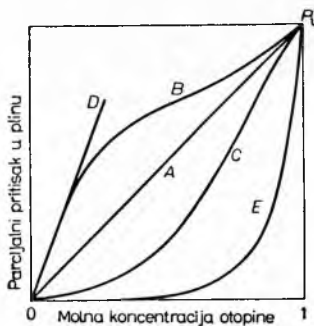


Sl. 1. Izoterme napona pare za binarnu smjesu tekućina. P_{ik} kritični pritisak tvari i , P_{lk} kritični pritisak otapala

Idealne otopine, za koje vrijedi Raoultov zakon, daju uglavnom tvari koje su među sobom kemijski slične, npr. lako i teško hlapljivi ugljikovodici istog homolognog reda. U općenitom slučaju (»neidealnih otopina«) ne vrijedi Raoultov zakon već se ravnotežne krivulje (na temperaturama ispod kritične) više ili manje uklanjaju od Raoultova pravca (sl. 2), bilo prema gore (pozitivne krivulje) bilo prema dolje (negativne). Jednadžba (1) može se održati na snazi i s pomoću nje računati odnos y_i i x_i i za neidealne otopine ako se doda pogodni koeficijent aktiviteta ϵ_i :

$$\frac{y_i}{x_i} = \epsilon_i \frac{P'_i}{P_u}. \quad (2)$$

Koeficijent ϵ_i općenito zavisi o koncentraciji, te y_i/x_i nije ni uz konstantnu temperaturu konstantan, nego funkcija koncentracije: izoterme su zakrivljene linije. Ako je $\epsilon_i > 1$, izoterme se uklanjaju od Raoultova pravca prema gore; ako je $\epsilon_i < 1$, one se od njega uklanjaju prema dolje.



Sl. 2. Izoterme parcijalnog pritiska pare nad otopinom. A Raoultov pravac, B pozitivna krivulja, C negativna krivulja, D Henryjev pravac, E krivulja za apsorpciju uz kemijsku reakciju

U užem ili širem području koncentracija u blizini $x = 0$, koje je često važno za apsorpciju u praksi, ϵ_i zna biti praktično konstantan. Jednadžba (2) prelazi time u Henryjev zakon:

$$p_i = H_i x_i, \quad y_i/x_i = H_i/P_u,$$

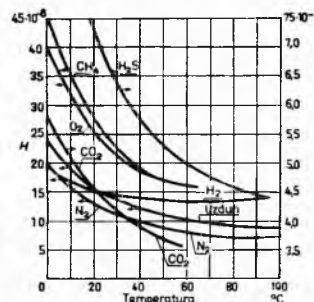
koji vrijedi i za plinove iznad njihove kritične temperature. Raoultov zakon je, prema tome, specijalan slučaj Henryjeva zakona za $H_i = P'_i$.

Koeficijenti apsorpcije. Henryjeva konstanta H_i karakterizira topljivost plina u području koncentracije u kojemu se on pokorava Henryjevu zakonu, te se u literaturi i nalaze često podaci o topljivosti plinova izraženi Henryjevom konstantom. Pri tom je, dakako, uvijek navedeno u kojim jedinicama treba pri primjeni navedene konstante mjeriti parcijalni pritisak i koncentraciju. Osim Henryjeve konstante za karakteriziranje topljivosti plinova upotrebljavaju se i različiti *koeficijenti apsorpcije*. *Ostwaldov koeficijent apsorpcije* α_i' je omjer y_i/x_i ili, ako se mjesto koncentracija uvedu volumi koji su im obrnuto proporcionalni:

$$\alpha_i' = \frac{v_{gt}}{v_{lt}},$$

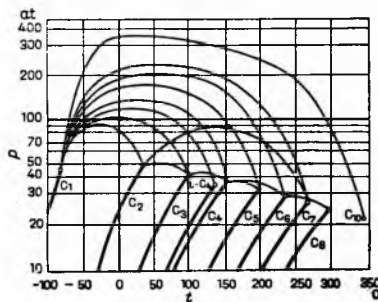
gdje je v_{lt} volum otopine u kojemu je otopljen volum v_{gt} plina i , mjeren na datoj temperaturi i pod datim pritiskom. α_i' je, dakle, volum plina koji se u ravnotežnom stanju nalazi pod datim okolnostima otopljen u jedinici voluma otopine. *Bunsenov koeficijent apsorpcije* α_i je volum plina pod standardnim okolnostima (0°C i 760 mm Hg) koji se otapa u jedinici voluma otapala ako parcijalni pritisak apsorbirane tvari iznosi 760 mm Hg. *Tehnički koeficijent apsorpcije* je količina plina u Nm³ koja se otapa u 1 t otapala ako je parcijalni pritisak plina 1 kp/cm². Svi ti koeficijenti apsorpcije mijenjaju se s temperaturom; s porastom temperature redovito se naglo smanjuju. S obzirom na pretpostavke uz koje su izvedeni, oni se mogu korisno upotrijebiti za izračunavanje apsorbiranih količina plina samo u području važenja Henryjeva,

Boyle-Mariotteova i Daltonova zakona, tj. za slabije topljive plinove, ne previsoke pritiske i ne previsoke temperature. Kad ti uvjeti nisu ispunjeni, koeficijenti apsorpcije su zavisni o parcijalnom pritisku plina; s porastom parcijalnog pritiska koeficijent redovito raste, u slučaju kad nastaje i kemijska veza između molekula otapala i plina (npr. pri otapanju ugljičnog dioksida u vodi), koeficijent apsorpcije s porastom parcijalnog pritiska opada. Sl. 3 prikazuje topljivost nekih plinova, izraženu Henryjevom konstantom (ovdje $H = 1/H_i$), u zavisnosti od temperature (x u molnim udjelima, p u atmosferama).



Sl. 3. Krivulje topljivosti nekih plinova u vodi

Ravnoteža apsorpcije pod visokim pritiscima. U nastojanju da smanji potrebnu količinu apsorbenta, a time pogonske troškove i dimenzije aparature, moderna tehnika upotrebljava pri apsorpciji često povišene pritiske. Kako se razabira iz sl. 1, pri apsorpciji jedne sastojine mogu se primijeniti i pritisci znatno viši od kritičnog pritiska i te sastojine i apsorbenta. Sl. 4 prikazuje (dolje) krivulje ključanja u homolognom nizu zasićenih alifatskih ugljikovodika i kritične krivulje nekih njihovih binarnih smjesa



Sl. 4. Krivulje ključanja zasićenih alifatskih ugljikovodika i kritične krivulje nekih njihovih binarnih smjesa

u homolognom nizu zasićenih alifatskih ugljikovodika (krivulje ravnotežnih napona para P_u u zavisnosti od temperature) i (gore) kritične krivulje za neke binarne smjese tih ugljikovodika. Krivulje ključanja završavaju u kritičkim tačkama, a od ovih polaze kritične krivulje binarnih smjesa. Iz te

se slike vidi da maksimalni pritisak koji se može upotrijebiti pri apsorpciji zavisi o rasponu kritičkih temperatura (a prema tome i tačaka ključanja) u sistemu, tj. o razlici između tačaka ključanja apsorbenta i najlakše hlapljive sastojine plinske smjese. Na smjese koje sadržavaju plinove s vrlo niskim kritičnim temperaturama (npr. vodik ili ugljični monoksid) mogu se stoga primijeniti još mnogo viši pritisci nego na plinove koji sadržavaju samo lake ugljikovodike.

Pod pritiscima blizu kritičnom i iznad njega ne mogu se na plinove primijeniti zakoni idealnih plinova, niti se može zanemariti utjecaj jednih sastojina na topljivost drugih. Taj je utjecaj često takav da ograničava upotrebu pritiska na vrijednosti koje su niže od maksimalnih, određenih pritiskom konvergencije.

Da bi se i pod uvjetima neidealnog ponašanja (pod visokim pritiscima) mogao primijeniti jednostavni linearni odnos između molnih koncentracija u tekućoj i plinovitoj fazi, zamjenjuju se naponi para čistih sastojina pogodno korigiranim veličinama koje imaju dimenziju pritiska a nazivaju se *fugacitetima* (hlapljivostima). Fugaciteti se razlikuju od pritiska to više što je viši ukupni pritisak a niža temperatura. Sl. 5 prikazuje odnos između fugaciteta, pritiska i temperature za ugljikovodike. Time što su kao apscise i parametar uzete reducirane vrijednosti $p_r = p/p_k$ i $T_r = T/T_k$ (gdje su p_k i T_k kritični pritisak i temperatura), taj je dijagram prema zakonu korespondentnih stanja upotrebljiv za sve članove te grupe među sobom srodnih spojeva. Uz upotrebu fugaciteta jednadžba za odnos koncentracija u objema fazama poprima i u slučaju neidealnog ponašanja jednostavan oblik

$$y/x = f_1/f_g \approx f_p'/f_g, \quad (3)$$

gdje je f_1 fugacitet čiste tekuće komponente na temperaturi i pod ukupnim pritiskom smjese, f_g fugacitet čiste komponente u plinovitom stanju na ravnotežnoj temperaturi i pod ukupnim pritiskom smjese, f_p' fugacitet pod pritiskom koji odgovara na datoj temperaturi stanju zasićenja.

Iz jednadžbe (3) s podacima sl. 5 može se izvesti za smjesu zasićenih alifatskih ugljikovodika da sastojine kojima je ravnotežni napon para manji od ukupnog pritiska pri porastu pritiska postaju hlapljivije (tj. manje topljive), a sastojine kojima je ravnotežni pritisak viši od ukupnog, manje hlapljive (topljivije) nego u slučaju idealnog ponašanja. Apсорbentu, koji svakako ima najmanji ravnotežni napon para u sistemu, hlapljivost navise poraste. Svi ti utjecaji nepovoljni su kad se žele apsorpcijom odijeliti slabo topljivi od dobro topljivih ugljikovodika; postoji dakle granica iznad koje dalje povišenje donosi ekonomski više štete nego koristi. Npr., kad se teškim ugljikovodicima apсорbiraju ugljikovodici niske tačke ključanja iz plinova koji sadržavaju metan, taj ekonomskom bilancom određeni maksimalni pritisak iznosi ~ 70 atmosfera.

Ravnateža apсорpcije uz kemijsku reakciju. U praksi se vrlo često upotrebljavaju za apсорpciju otopine (redovito vodene) s kojima apсорbirani plin kemijski reagira. Tako se apсорbiraju naročito «kisel» plinovi u alkalijskim otopinama, npr. ugljični dioksid, sumporovodik, cijanovodik u otopinama anorganskih i organskih baza kao što su alkalijski karbonati, amini, amonijak, trikalijev fosfat i dr., ali i neki drugi plinovi, npr. CO u otopinama bakrenih soli, nitrozni plinovi u vodi, amonijak u kiselinama itd. Budući da se plinovi koji nisu kadri reagirati s tim otopinama u njima apсорbiraju mnogo manje, takvi «kemijski» apсорbenti redovito su selektivniji nego fizički, a kako se za takve apсорpcije biraju reakcije koje su na danoj temperaturi praktično ireverzibilne, napon para nad otopinom je u širokom intervalu koncentracije otopine praktično jednak nuli, tj. plin je u takvim apсорbentima u tim granicama koncentracije «beskonačno topljiv» (v. sl. 2). Određeno ograničenje predstavlja topljivost produkta reakcije,

pa treba parcijalni pritisak plina, koncentraciju apсорbenta i temperaturu pri apсорpciji birati tako da ne može doći do ispadanja netopljive soli koja bi uzrokovala smetnje u aparaturi. (U nekim slučajevima, npr. proizvodnji sode ili amonijeva sulfata, ide se, naprotiv, za tim da produkt ispadne netopljiv.)

Kad apсорbent nije samom prirodom produkta dat (kao npr. pri proizvodnji solne kiseline, dušične kiseline i amonijeva sulfata), njegov je izbor ograničen određenim tehničkim i ekonomskim zahtjevima. Priroda otopine i njezina početna koncentracija moraju biti takve da se viskozitet otopine povećanjem koncentracije reakcijskog produkta znatno ne povisuje, jer bi se time smanjila brzina kojom se plin apсорbira. Kad apсорbent treba regenerirati, izabrana reakcija mora biti termički reverzibilna, tj. na višoj temperaturi treba da, praktično bez obzira na koncentraciju, ide u smjeru raspadanja nastalog spoja. Apсорbent treba da je razmjerno nehlapljiv u poređenju s apсорbiranom tvari. Poželjno je da ekvivalentna težina reaktanta u otopini bude što manja, da bude po težini što manja količina otopine potrebna za apсорbiranje određene količine plina. Difuzija plina u izabranoj tekućini i njegova reakcija s reaktivom treba da su dovoljno brze. Kao i svaki drugi apсорbent, i apсорbent ove vrste ne smije nagrizati aparaturu, treba da bude po mogućnosti neotrovan, nezapaljiv, kemijski stabilan i jeftin.

KINETIKA APSORPCIJE

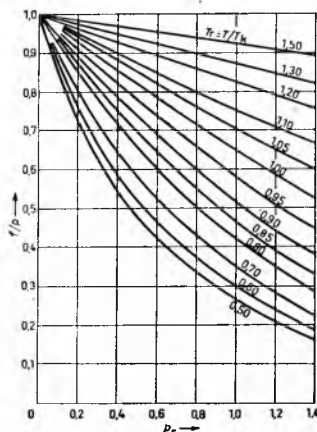
U toku vremena predložene su dvije teorije o mehanici prelaza mase iz plinovite u tekuću fazu (i obrnuto), odnosno dva modela za matematičku interpretaciju zbivanja u aparaturi za kontinuiranu apсорpciju plina u tekućini: *teorija dvaju slojeva* i *teorija penetracije*.

Teorija dvaju slojeva (Whitman i Lewis 1924) pretpostavlja da se u objema fazama i na njihovoj granici uspostavlja stacionarno stanje; da je cjelokupni otpor prelazu mase iz jedne faze u drugu koncentriran na dva tanka sloja koji relativno miruju ili se laminarno gibaju: jedan plinoviti (koji odgovara Prandtlovu sloju pri prenosu topline i impulsa) i jedan tekuć na koji se zamišlja da je prenijet sav difuzioni otpor u tekućini. Do laminarnih slojeva dovodi se masa, odn. s njih se odvodi, u obje faze bez otpora, turbulentnim gibanjem; kroz slojeve masa se može prenositi samo difuzijom. Kao sila pod čijim djelovanjem nastaje prenos mase kroz plinski sloj mora postojati razlika parcijalnih pritiska s obje strane sloja, a isto tako razlika koncentracije s obje strane tekućeg sloja da bi masa kroza nj prolazila. Brzina prenosa mase tim je razlikama pritiska i koncentracije razmjerna. Na granici faza pretpostavlja se da vlada ravnoteža između plina i tekućine (tako da tamo nema otpora prolazu mase), a na granicama između pojedinog sloja i glavne (turbulentne) mase dotične faze vlada — prema navedenim pretpostavkama — parcijalni pritisak odn. koncentracija koju ima plin odn. tekućina u svojoj unutrašnjosti. U ravninama okomitim na smjer prelaza mase uzima se da su parcijalni pritisci i koncentracije konstantni.

Ako su poznati: parcijalni pritisak p apсорbirane tvari u plinovitoj fazi, njezina koncentracija c u tekućoj fazi i ravnotežne vrijednosti parcijalnog pritiska i koncentracije na granici slojeva (p_a i c_a) na datoj temperaturi, model teorije dvaju slojeva daje ove jednadžbe za brzinu prelaza mase (N) iz plinske u tekuću fazu, u jedinicama mase za jedinicu vremena i jedinicu površine granične plohe među fazama (npr. kmol/m² h):

$$N = k_g(p_a^* - p_a) = k_l(c_a - c), \quad (4)$$

u kojima se koeficijent proporcionalnosti k_g zove *koeficijent prelaza mase* u plinovitoj fazi, u jedinicama brzine prelaza mase po jedinici razlike parcijalnog pritiska, a k_l koeficijent prelaza mase u tekućoj fazi, u jedinicama brzine prelaza mase po jedinici razlike koncentracije. Ti se koeficijenti mogu eksperimentalno odrediti ako je poznata aktivna površina prenosa mase (ukupna, A , ili po jedinici voluma aparature, a), time da se masa prešla u jedinici vremena kroz površinu A ili a dijeli s tom površinom i s razlikom parcijalnog pritiska ($p - p_a$) odn. razlikom koncentracije ($c_a - c$). Često aktivnu površinu nije moguće odrediti; u tom se slučaju prešla masa dijeli s volumenom aparature unutar kojeg je ta površina sadržana, pa se eksperimentalno dobivaju produkti $k_g a$ i $k_l a$, s kojima se izračunavaju brzine prelaza mase N' izražene u jedinicama mase za jedinicu vremena i jedinicu voluma, namjesto za jedinicu površine:



Sl. 5. Omjer fugaciteta i pritiska u zavisnosti od reduciranog pritiska za razne reducirane temperature

$$N' = k_g a (p - p_e) = k_1 a (c_e - c). \quad (4a)$$

Kad nije moguće odrediti ravnotežne vrijednosti p_e i c_e , potrebne za izračunavanje odvojenih koeficijenata prelaza mase za plinovitu i za tekuću fazu, za određeni slučaj mogu se uvijek lako odrediti koeficijenti prolaza mase K_g i K_1 , odn. $K_g a$ i $K_1 a$, definirani jednadžbama:

$$N = K_g (p - p^*) = K_1 (c^* - c), \quad (5)$$

$$\text{odnosno} \quad N' = K_g a (p - p^*) = K_1 a (c^* - c), \quad (5a)$$

gdje je p^* parcijalni pritisak koji prema izotermi ravnoteže odgovara koncentraciji c , a c^* koncentracija koja prema istoj izotermi odgovara parcijalnom pritisku p .

Ove jednadžbe odgovaraju predodžbi da se cijeli otpor protiv prenosa mase koncentrirao u jednom, plinovitom ili tekućem, laminarnom sloju, dok sa druge faze na graničnu plohu, na kojoj vlada ravnoteža, apsorbirana tvar dolazi (odnosno s nje odlazi) bez otpora i prema tome bez potrebe razlike potencijala. Sl. 6 prikazuje grafički odnose pri apsorpciji. U koordinatnom sistemu kojemu su apscise koncentracije u tekućoj fazi a ordinate parcijalni pritisci u plinovitoj, pravac OL prikazuje izotermu apsorpcije, tačka G (s koordinatama c, p) stanje u unutrašnjosti plina i tekućine, tačka Z (c_e, p_e) stanje na graničnoj površini, gdje vlada ravnoteža. Ordinata tačke E je ravnotežni parcijalni pritisak koji odgovara koncentraciji c , apscisa tačke L je ravnotežna koncentracija koja odgovara parcijalnom pritisku p . Ako u tekućini nema otpora protiv prenosa mase, na granici faza vlada ravnotežni pritisak p^* , nema u njoj ni gradijenta koncentracije, sila koja uzrokuje prenos mase je razlika parcijalnih pritisaka ($p - p^*$). Ako nema otpora u plinu, sila koja uzrokuje prelaz mase je (analogno) razlika koncentracije $c^* - c$. Ako postoji otpor u oba laminarna sloja na granici faza, sile koje uzrokuju prenos mase jesu razlika parcijalnih pritisaka $p - p_e$ i razlika koncentracija $c_e - c$. Njihov omjer je prema jednadžbi (4):

$$\frac{p - p_e}{c_e - c} = \frac{k_1}{k_g}, \quad \text{ili} \quad \frac{p_e - p}{c_e - c} = -\frac{k_1}{k_g},$$

tj. priklon pravca GZ prema horizontali jednak je $-k_1/k_g$. Iz geometrije sl. 6 slijedi da je taj priklon jednak i $(p - p^*)/(c^* - c)$, a ovaj je prema jednadžbi (5) jednak K_1/K_g . Iz kombinacije jednadžbi (4) i (5) slijedi konačno da je $(K_1/K_g) = (k_1/k_g)$ i da se te jednadžbe mogu podjednako upotrijebiti za izračunavanje brzine apsorpcije N . Ali to vrijedi, kako se iz slike vidi, samo ako se u području između tačaka E i L izoterma može smatrati pravcem, tj. ako u tom području vrijedi Henryjev zakon, pa je samo u takvim slučajevima upotreba koeficijenata K_1 i K_g smislena i korisna.

Kako se vidi iz sl. 6:

$$(p - p^*) = \frac{k_1}{k_g} (c_e - c) + H(c_e - c) = \left(\frac{k_1}{k_g} + H \right) (c_e - c).$$

Uvršteno u jednadžbu (5) i izjednačeno s jednadžbom (4):

$$K_g \left(\frac{k_1}{k_g} + H \right) (c_e - c) = k_1 (c_e - c),$$

iz čega slijedi:

$$\frac{1}{K_g} = \frac{1}{k_g} + \frac{H}{k_1}, \quad (6)$$

Analogno se dobiva:

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{H k_g}. \quad (6a)$$

Smatraju li se jednažbe (4) i (5) analogonima Ohmova zakona, koeficijenti k i K predstavljaju vodljivosti za masu, a njihove recipročne vrijednosti otpore protiv prelaza i prolaza mase. Jed-

nadžbe (6) izražavaju (za slučaj važenja Henryjeva zakona) aditivnost otpora. Iz tih se jednadžbi vidi također da za vrlo topljive plinove (velik H) i vrlo malo topljive (malen H) odnosni koeficijenti prelaza i prolaza mase postaju približno jednaki. To se vidi i iz sl. 6, jer u tim slučajevima postaje $p_e \approx p^*$, odnosno $c_e \approx c^*$.

Teorija penetracije. Model teorije dvaju slojeva pokazao se vrlo pogodnim za proračunavanje tehničke apsorpcijske aparature, a koeficijenti prelaza i prolaza mase predstavljaju zgodan način izražavanja eksperimentalnih podataka o brzini apsorpcije. Ali kad se takvi koeficijenti pokušavaju izračunavati iz podataka o osnovnim veličinama od kojih prema predodžbi dvaju slojeva zavise, pokazuje se da taj model ne prikazuje u svemu pravilno stvarni mehanizam prenosa mase. Da pri strujanju fluida preko čvrste površine njegova brzina ne pada skokom od neke konačne vrijednosti u unutrašnjosti do nule na samoj površini, nego da je taj pad brzine postepen, pa da stoga postoji na granici faza sloj koji se zbog sporosti strujanja giba laminarno — to je plauzibilno, pa čak i nužno pretpostaviti. Ali nije isto tako plauzibilno da takvi slojevi postoje na granici dviju faza koje obje turbulentno struje. Može se pretpostaviti da će u tom slučaju turbulencija sezati do same granične površine, štaviše, da će na njoj biti naročito izražena. Na toj pretpostavci osniva se drugi model, koristan naročito za predviđanje vrijednosti koeficijenata prelaza mase pod različitim okolnostima (R. Higbie 1935 i P. V. Danckwerts 1951). Prema toj predodžbi, vrtlozi koji se nalaze uz površinu tekućine neprestance donose na nju iz unutrašnjosti nove dijelove tekućine i nakon nekog vremena, kroz koje se one zasićuju plinom koji u njih difundira, opet ih odnose u unutrašnjost. Brzina apsorpcije u pojedinoj čestici tekućine s vremenom opada; kako se u nekom danom momentu površina sastoji od čestica koje su različito dugo bile izložene plinu, srednja brzina apsorpcije plina u tekućini zavisit će o statističkoj raspodjeli «starosti» čestica na njezinoj površini. Ako se funkcija te raspodjele označi sa $\Phi(t)$ [tj. dio ukupne površine kojemu je starost između t i $t + dt$ iznosi $\Phi(t) dt$], a količina plina apsorbirana za vrijeme t na površini koja miruje, sa $Q(t)$, bit će

$$N = \int_{t=0}^{\infty} \Phi(t) dQ(t).$$

Danckwerts je odredio funkciju $\Phi(t)$ uz pretpostavku da ne postoji veza između starosti čestice tekućine na površini i vjerojatnosti da će ona biti zamijenjena novom. S pomoću te funkcije može se objasniti činjenica da znatno jednostavniji model dvaju slojeva daje upotrebljive rezultate za brzinu apsorpcije i pored toga što mehanizam procesa ne prikazuje pravilno, i mogu se postaviti za zavisnost koeficijenta prelaza mase od svojstava sistema jednadžbe koje su u boljem suglasju s eksperimentima nego one koje se izračunavaju s pomoću modela dvaju slojeva. Tako bi prema teoriji dvaju slojeva trebalo da k_1 bude proporcionalan koeficijentu difuzije plina u tekućini D_1 , a prema teoriji penetracije k_1 je proporcionalan $\sqrt{D_1}$, gdje je s brzina obnavljanja površine. Mjerenja u punjenim kolonama pokazala su da je zaista k_1 proporcionalan drugom korijenu iz koeficijenta difuzije D_1 .

Izračunavanje koeficijenata prelaza mase. Za korelaciju eksperimentalnih rezultata i za predviđanje vrijednosti koeficijenata prelaza mase za različite fluide i u zavisnosti od uvjeta apsorpcije, s uspjehom su primijenjene dimenzijska analiza (teorija sličnosti) i analogija između prenosa mase, prenosa topline i prenosa impulsa. Bezdimenzijske grupe koje su među sobom povezane bezdimenzijskim jednadžbama prenosa mase jesu ove:

$$Nu' = \frac{k_1 d}{D_1}, \quad \text{grupa analogna Nusseltovu broju pri prolazu topline,}$$

$$Re = \frac{v d}{\nu}, \quad \text{Reynoldsov broj,}$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_1}, \quad \text{Schmidtov broj, analogan Prandtlovu broju pri prelazu topline.}$$

Pri tome znači d neku karakterističnu dimenziju, npr. promjer kolone, D_1 koeficijent difuzije plina u tekućini, v brzinu strujanja tekućine, ν kinematički viskozitet tekućine.

Na primjer, za prelaz mase u kolonama ($d = 50 \dots 500$ mm) punjenim Raschigovim prstencima ($\varnothing 10 \dots 50$ mm), na tempera-

turama između 2 i 32°C, izveo je Kling, koristeći se analogijom s prelazom topline, ovu jednadžbu za korelaciju brojnih pokusa apsorpcije teško topljivih plinova (CO_2 , Cl_2 , SO_2 i O_2) u vodi:

$$\text{Nu}' = 4,85 (\text{Re}^{0,703} - 8,85) \text{Sc}^{0,332}$$

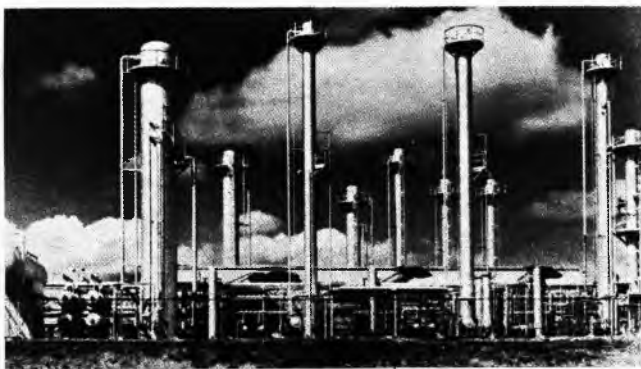
Za određenu tekućinu i konstantnu temperaturu, ν i D_1 su konstante, pa je u tom slučaju k_1 zavisian samo o dimenzijama aparature i brzini strujanja tekućine. Kad se radi o topljivim plinovima, oba koeficijenta prelaza mase zavise osim toga i o brzini strujanja plina. Koeficijenti k_{1a} i k_{2a} , za razliku od k_1 i k_2 , u velikoj su mjeri nezavisni o veličini prokapsnih tijela kojima je toranj napunjen.

Brzina apsorpcije uz kemijsku reakciju. U pomanjkanju pogodnog matematičkog modela za proces apsorpcije praćene kemijskom reakcijom, za proračune se i u tom slučaju redovito primjenjuju formule dobivene na osnovu teorije dvaju slojeva, uz upotrebu pogodnih koeficijenata prelaza mase k_1' . Međutim, ne smije se pri tom ipustiti iz vida da stvarni mehanizam procesa u ovom slučaju može još mnogo manje odgovarati pretpostavkama teorije dvaju slojeva nego u slučaju fizičke apsorpcije. Na primjer, iz jedn. (6), sa $H = 0$ (zbog »beskonačne« topljivosti plina u tekućini), izlazi da je brzina apsorpcije uz kemijsku reakciju uvijek određena isključivo koeficijentom prelaza mase k_g , što bi predstavljalo dalju znatnu prednost takve apsorpcije, jer su koeficijenti k_g redovito mnogo veći od koeficijenata k_1 . Međutim, teorija dvaju slojeva ne uzima u obzir neke mjerodavne faktore u apsorpciji uz kemijsku reakciju, naročito brzinu reakcije između plina i reaktivne tvari u apsorbtentu i brzinu difuzije reaktivne tvari. Što je difuzija reagenta iz unutrašnjosti prema površini tekućine brža to će brže plin koji difundira u tekućinu stupiti u reakciju, a što je reakcija brža to će na manjoj udaljenosti od površine apsorbirana tvar nestati. Oboje odgovara smanjenju debljine tekućeg laminarnog sloja u teoriji dvaju slojeva, odn. povećanju koeficijenta k_1 . Ako su difuzija i reakcija spore, pretpostavljena debljina laminarnog sloja neće u slučaju apsorpcije s reakcijom biti bitno manja nego u fizičkoj apsorpciji, pa ni brzina apsorpcije uz kemijsku reakciju neće biti bitno veća od brzine fizičke apsorpcije, i pored velike topljivosti plina u tekućini.

Ako je reakcija dovoljno brza, a uz višak reagensa u apsorbtentu, brzina apsorpcije u česticama apsorbtenta na površini tekućine praktično je nezavisna o njihovoj starosti (u smislu teorije penetracije). Izmjena površine stoga ovdje nema onaj utjecaj na brzinu apsorpcije što ga ima pri fizičkoj apsorpciji i brzina strujanja u apsorpcijskoj koloni može pri kemijskoj apsorpciji biti i manja nego pri fizičkoj, a u apsorpciji djelotvorno sudjeluje i tekućina koja više ili manje stagnira u zakucima do kojih turbulencija ne dopire. I to su prednosti kemijske apsorpcije pred fizičkom.

PROVEDBA APSORPCIJE U TEHNICI

Za provedbu apsorpcije plinova u tehnici služe aparati konstruirani tako da se u njima između tekuće i plinovite faze stvara u svakom slučaju što veća razdjelna površina, a u pojedinim specijalnim slučajevima i drugi što povoljniji uvjeti za brzi prelaz

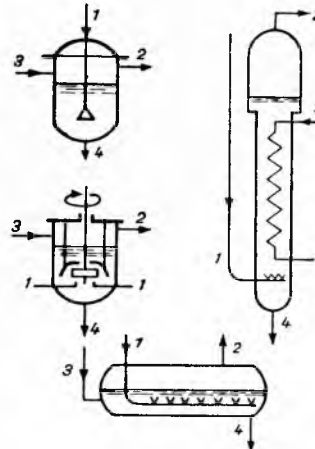


Sl. 7. Postrojenje za proizvodnju benzina iz zemnog plina apsorpcijom u mineralnim uljima

mase. Velika se razdjelna površina između faza postizava disperzijom jedne faze u drugoj, pa se prema tome koja je od obiju faza u drugoj dispergirana mogu razlikovati aparati s plinovitom i

aparati s tekućom dispergiranom (unutarnjom) fazom. Od prve grupe aparata najvažnije su kolone s tavanima (kaskadne kolone), od druge grupe kolone punjene prokapsnim tijelima. Obje te vrste aparata upotrebljavaju se u tehnici ne samo za apsorpciju nego i za druge operacije u kojima se prenosi masa, a naročito za destilaciju i rektifikaciju.

Aparati s plinovitom unutarnjom fazom. Kaskadne kolone. U nekim slučajevima upotrebljavaju se za apsorpciju jednostavne posude (sl. 8) u koje se plin uvodi uronjenom cijevi koja ga

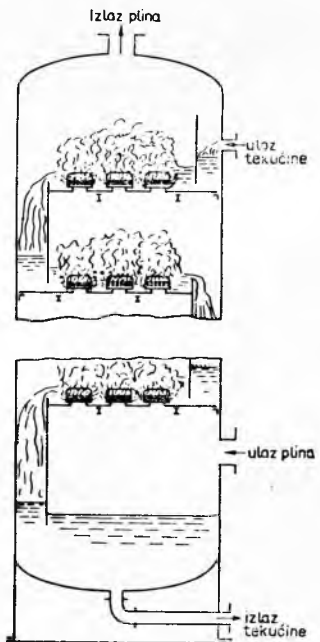


Sl. 8. Apсорpcijski aparati s plinovitim unutarnjom fazom. 1 ulaz plina, 2 izlaz plina, 3 ulaz tekućine, 4 izlaz tekućine

raspršava ili dovodi uređajima za raspršavanje (npr. miješalicama). Takvi se aparati upotrebljavaju ponekad za apsorpcije kojima se razvija mnogo topline, ili kad je količina inertnog plina u plinskoj smjesi malena. Velika količina tekućine u tom je slučaju potrebna da primi razmjerno veliku količinu apsoriranog plina. Aparat te vrste povoljan je kad je otpor protiv prelaza mase pretežno na strani tekućine, jer dok se mjehurić diže kroz tekućinu, granični se sloj tekućine na njegovoj površini brzo obnavlja, dok plin u njegovoj unutrašnjosti više ili manje miruje. Ako je potrebno, plin može prolaziti za redom kroz nekoliko posuda za apsorpciju, a

ako se i tekućina vodi iz jedne posude u drugu, može se uspostaviti baterija za apsorpciju plina u protustruji.

Kolona s tavanima (kaskadna kolona) predstavlja u stvari protustrujnu bateriju (kaskadu) posuda smještenih jedna iznad druge, s time da je takav aparat jeftiniji i djelotvorniji od baterije odvojenih posuda, a može se upotrijebiti i u slučaju kad je količina tekućine u poređenju s količinom plina razmjerno malena. Takva kolona predstavlja visoku cilindričnu posudu podijeljenu horizontalnim pregradama na niz »tavana« uredenih tako da je osiguran prisnan kontakt između tekućine i mjehurića plina. Tekućina dodata na vrhu kolone pada s jednog tavana na slijedeći niži i izlazi na dnu obogaćena u željenoj mjeri plinom koji se odozdo diže na vrh, prolazeći redom kroz slojeve tekućine na tavanima. Najčešće upotrijebljeni uređaj za kontaktiranje plina s tekućinom na tavanu jesu zvonca (sl. 9). Plin dolazi pod zvono sa slijedećeg nižeg tavana kroz uzlaznu cijev i raspršuje se u mjehuriće nazubljenjem ili otvorima na rubu zvonca. Tekućina se pregradama prisiljava da se zadrži neko vrijeme na tavanu, a onda zasićena pada na slijedeći niži tavan prepadnom cijevi, koja ujedno stvara hidraulički zapor između obaju tavana. Zvonca mogu biti kružnog presjeka ili izduženog pravokutnog (tuneli), može ih biti na tavanu mnogo ili malo, a može biti na svakom tavanu i svega jedno veliko zvono. To zavisi o poželjnoj brzini strujanja plina kroz tekućinu, također o tendenciji tekućine da se pjeni, da izlučuje talog itd. Osim tavana sa zvonima upotrebljavaju se i rupičasti tavan, na kojima se plin protiskuje kroz tekućinu velikim brojem rupica na horizontalnoj

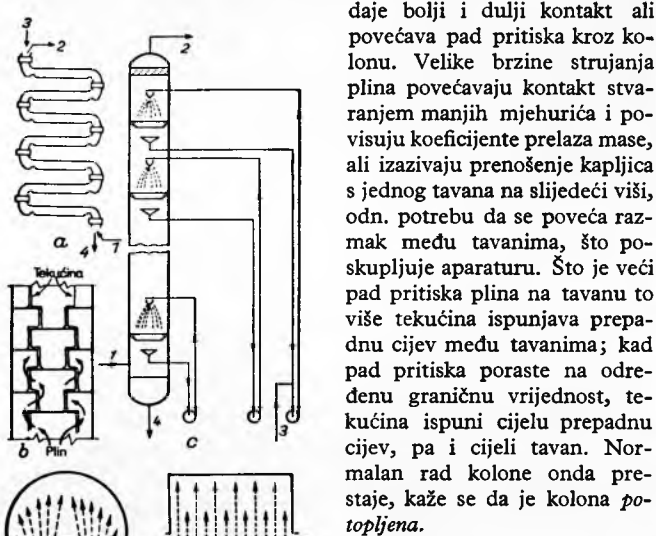


Sl. 9. Kaskadna kolona sa zvonima

pravokutnog (tuneli), može ih biti na tavanu mnogo ili malo, a može biti na svakom tavanu i svega jedno veliko zvono. To zavisi o poželjnoj brzini strujanja plina kroz tekućinu, također o tendenciji tekućine da se pjeni, da izlučuje talog itd. Osim tavana sa zvonima upotrebljavaju se i rupičasti tavan, na kojima se plin protiskuje kroz tekućinu velikim brojem rupica na horizontalnoj

pregradi. Konačno su se u posljednje vrijeme uveli i rešetkasti tavan, koji nemaju ni prepadnih cijevi, nego tekućina i plin prolaze kroz iste otvore između štapova koji obrazuju rešetku.

Konstrukcija tavana predstavlja redovito kompromis u nastojanju da se zadovolji niz suprotnih zahtjeva. Debeo sloj tekućine daje bolji i dulji kontakt ali povećava pad pritiska kroz kolonu.

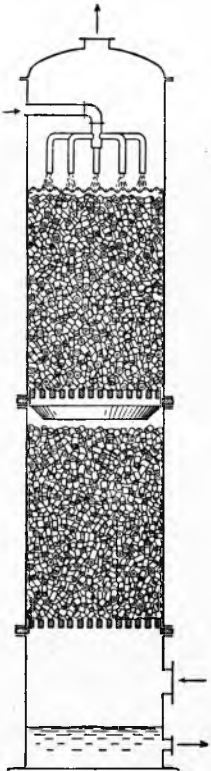


Aparati s tekućom unutarnjom fazom. Punjene kolone. U aparatima s tekućom unutarnjom fazom tekućina se dispergira u plitke mlake, tanke opne ili više ili manje sitne kapljice, dok plin u neprekinutoj struji prolazi preko tako dispergirane tekućine ili kroz nju.

Kad se pri apsorpciji razvija velika količina topline, a zbog tehničkih ili ekonomskih razloga se ne može upotrijebiti metalna aparatura koja dopušta intenzivno hlađenje (npr. u slučaju apsorpcije klorovodika u vodi), upotrebljavaju se turili, posude kojima je površina (kojom se hlade) razmjerno velika u poređenju s površinom tekućine na kojoj se plin apsorbira. Sl. 10a pokazuje Tylerove turile u obliku slova S, napravljene od kremenog stakla, tako da se mogu hladiti vodom.

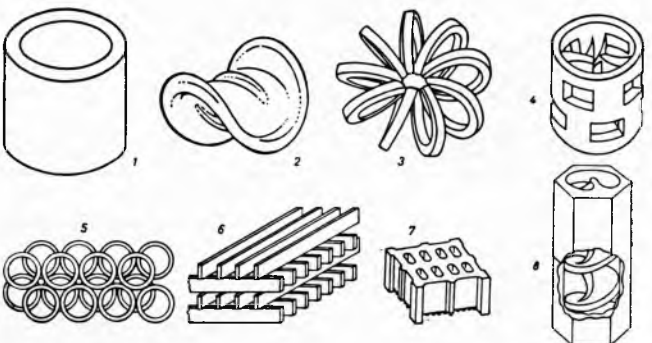
U kapljice se tekućina raspršava sapnicama ili brzim okretanjem tanjura ili tava s rupicama na bokovima. Takvi aparati (sl. 10c, d) primjenjuju se kad je količina tekućine u poređenju s količinom plina malena. Pogodni su naročito u slučajevima kad je za brzinu apsorpcije mjerodavan plinoviti sloj na razdjelnoj površini faza, jer se tekući površinski sloj kapljice sporo obnavlja. Jedinice za apsorpciju s raspršivanjem mogu se spojiti okomito ili horizontalno za redom u bateriju, pri čemu tekućina može na pojedinom stepenu cirkulirati, a u cjelini teći u protustruji s plinom (sl. 10c).

U daljoj vrsti aparata te grupe tekućina u slapovima pada s jedne horizontalne pregrade kolone na drugu, a plin kroz te slapove prolazi (sl. 10b). Kontakt je fazā slabiji, ali im je osigurano lakše protustrujno kretanje, pad pritiska je izvanredno malen, a nema smetnja od taloga koji ispadaju. Konačno se može spomenuti još kontaktiranje plina s tekućinom u Venturijevim cijevima i ciklonima; ono je vrlo intenzivno, ali zahtijeva velik potrošak snage.



Sl. 11. Punjena kolona

Dosad spomenuti aparati s dispergiranjem tekućine upotrebljavaju se redovito u specijalnim slučajevima; u najvećem mjerilu se u tehnici apsorpcije (i drugih operacija prenosa mase) od aparata te grupe upotrebljava *punjena kolona* (sl. 11). To je cilindrična posuda ispunjena prokapsnim tijelima ili drugim uređajima velike površine preko kojih tekućina, na pogodan način raspodijeljena na vrhu, struji u tankim slojevima i pada u kapljicama, dok se plin diže od dna prema vrhu preko njezine tako stvorene velike površine. Oblik prokapsnih tijela konstruiran je — često na vrlo ingeniozan način — tako da je površina tekućine koja preko njih pada velika u poređenju s njihovim volumenom, da između sebe ostavljaju za plin dosta široke prolaze aerodinamički povoljnog oblika, da su mehanički čvrsti i lagani (sl. 12). Osim toga treba da su kemijski otporni i jeftini. Najčešće se prave od keramičkog materijala, rjeđe od metala, u novije vrijeme i od plastičnih masa.



Sl. 12. Prokapsna tijela za punjene kolone. Bez reda ubacivana: 1 Raschigov prstenac, 2 Berlovo sedlo, 3 »Tellerette« od plastične mase, 4 prstenac sa šiljcima za kapanje. Pravilno naslagana: 5 Raschigovi prstenci, 6 drvene letve, 7 rešetkaste opeke sa šiljcima za kapanje, 8 »Hexahelix«

Jedni se od njih bez reda ubacuju u kolonu, drugi se u njoj u pravilnom poretku naslažu. Najčešće se upotrebljavaju *Raschigovi prstenci*, šuplji cilindri kojima je visina jednaka promjeru. Prave se od različitih materijala u različitim veličinama (najčešće 2,5...5 cm).

U punjenim kolonama jednolična raspodjela tekućine i plina po presjeku čini veće teškoće nego u kaskadnim kolonama: tekućina ima tendenciju da struji prema zidovima kolone, pa plin struji prvenstveno sredinom gdje ima manje tekućine. Zato su u koloni često umetnute lijevkaste pregrade koje tekućinu vraćaju u sredinu. Odnos količina tekućine i plina u punjenim kolonama ne može biti tako malen kao u kaskadnim kolonama, a niti tako velik: premale količine ne kvase prokapsna tijela, a prevelike izazivaju potapanje kolone. Punjene kolone nisu za tekućine iz kojih ispadaju talozi tako pogodne kao kaskadne, kojima se tavanu mogu kroz posebne otvore čistiti. Težina punjene kolone je redovito veća nego kaskadne istog kapaciteta, a i količina tekućine koja u njoj zaostaje po prestanku rada je veća. U kaskadnoj koloni tekućina se može lakše hladiti vanjskim ili unutarnjim hladilima nego u punjenoj, a promjene temperature redovito će više naškoditi punjenoj koloni nego kaskadnoj. S druge strane, punjene kolone se lakše konstruiraju za korozivne tekućine i pad pritiska kroz njih je redovito znatno manji nego kroz odgovarajuće kaskadne kolone.

U ekonomskom pogledu relativne prednosti i nedostaci punjenih kolona u poređenju s kaskadnim ispoljavaju se tako da su za veće kapacitete redovito povoljnije kaskadne kolone, a za manje punjene, ukoliko su inače ispunjeni uvjeti za upotrebu obiju vrsta kolona.

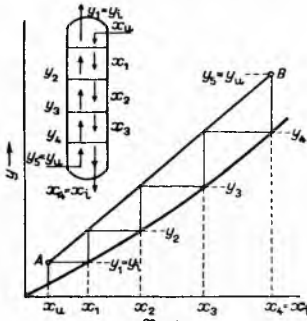
PRORAČUN APSORPCIJSKIH KOLONA

Pošto je određena vrsta aparata u kojemu je najpovoljnije provesti apsorpciju i izabran pogodan apsorber, najprije je potrebno utvrditi količine plina i otapala koje za postizavanje željenog kapaciteta treba u jedinici vremena puštati kroz aparat. Pitanje je tehničkih zahtjeva i mogućnosti, kao i ekonomske računice, do koje će se mjere plin osloboditi topljive sastojine i do koje mjere ta sastojina pri regeneraciji iz otapala istjerati. Kad je to utvrđeno, tj. kad je utvrđen sastav plina na izlazu iz aparata (y_1 , u jedinicama mase apsorbirane tvari na jedinicu inertnog plina) i tekućine na ulazu (x_0 , u jedinicama mase apsorbirane

tvori na jedinicu mase otapala), onda je lako izračunati količinu inertnog plina koja kroz aparat prolazi u jedinici vremena (G), dok za određivanje količine čistog otapala L treba još odlučiti koji je najpovoljniji odnos L/G , što se (za apsorpcijske kolone) čini po načelima koja će malo dalje biti izložena. Nakon toga određuje se promjer kolone tako da je brzina strujanja povoljna u pogledu na pad pritiska, potapanje kolone, prenošenje kapljica s tavana na tavan itd. Konačno se određuje visina kolone. Za to postoji veći broj grafičkih i analitičkih postupaka; ovdje će se iznijeti načela onih koji se najčešće upotrebljavaju. Pri tom će najprije biti govora o binarnim smjesama, tj. o slučajevima kad se apsorbira samo jedna tvar.

Određivanje visine kolone. Kaskadne i punjene kolone predstavnicu su dviju različitih vrsta aparata upotrebljivanih općenito u operacijama s prenosom mase: kaskadna kolona je predstavnik aparata u kojima se prelaz od početnog stanja na konačno zbitva protustrujnim prelazom mase iz jedne u drugu fazu posredstvom niza ravnotežnih stanja, a prenos se mase zbiva samo na određenim mjestima aparata (gdje ne mora biti protustrujan); punjena kolona je tipičan predstavnik aparata u kojima obje faze nikad nisu u ravnoteži, a prelaz se mase zbiva stalno u protustruji i na svakom mjestu u aparatu. Načini proračuna tih dviju vrsta kolona se stoga u izvjesnoj mjeri razlikuju, ali imaju i mnogo zajedničkog.

Na tavanu kaskadne kolone plin, koji dolazi sa slijedećeg nižeg tavana i još je razmjerno bogat plinom koji se apsorbira, sastaje se s tekućinom sa slijedećeg višeg tavana, koja je apsorbiranim tvaru još razmjerno siromašna. Svrha je tavana da se na njemu prelazom mase uspostavi ravnoteža između te dvije faze. Tavan na kojemu to potpuno uspijeva naziva se *idealnim tavanom*. Na takav tavan, dakle, dolaze tekućina i plin koji nisu u ravnoteži a odlaze — na razne strane — tekućina i plin kojima sastav odgovara jednoj tački izoterme apsorpcije (sl. 13). Što je tavan bliže dnu kolone to je tekućina na njemu u ravnotežnom stanju bogatija apsorbiranim tvaru, što ima više tavana između dna i vrha kolone to je potpunija apsorpcija plina u tekućini. Određivanje visine kaskadne kolone svodi se stoga na to da se odredi broj tavana potrebnih za postizanje određenog stupnja apsorpcije, i visina pojedinog tavana. Visina punjene kolone načelno se izračunava tako da se jednadžba (4a) primijeni na diferencijalni volum kolone i onda integrira preko cijele visine. U oba slučaja potrebno je znati kako se sastav obiju faza mijenja (diskontinuirano u kaskadnoj koloni a kontinuirano u punjenoj) uzduž visine kolone.



Sl. 13. Određivanje broja idealnih tavana kaskadne kolone

$$E_p = \frac{y_{t+1} - y_t}{y_{t+1} - y_{e,t}}$$

gdje su y_t i y_{t+1} koncentracije plina kad odlazi s i -tog i $(i+1)$ -og tavana (brojeći odozgo) a $y_{e,t}$ sastav što bi ga imao plin sa i -tog tavana kad bi bio u ravnoteži s tekućinom koja s tog tavana odlazi. Za punjene kolone udaljenost između tačke na pogonskom pravcu koja prikazuje sastav faza u određenom presjeku tornja i tačke na ravnotežnoj krivulji koja odgovara ravnotežnom stanju među fazama (sl. 14, v. i sl. 6) daje razlike koncentracije koje su na tom mjestu mjerodavne za brzinu prelaza mase.

Označi li se sa x_i i y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) sastav faza koje odlaze sa tavana i , nalaze se u dijagramu x, y , za idealne tavane, tačke x_i, y_i na krivulji ravnoteže, a tačke x_i, y_{i+1} na pogonskom pravcu, tj. broj n idealnih tavana može se grafički odrediti kao broj stepenica koje se dobivaju spajanjem tačaka istog x i istog y na pogonskom pravcu i ravnotežnoj krivulji (sl. 13). Ako tavana nisu idealni a njihovi pojedinačni stepeni idealnosti su poznati, namjesto tačaka x_i, y_i uzimaju se tačke koje se određuju s pomoću tih stepena idealnosti. Ako nije poznato kako se stepen idealnosti mijenja uzduž kolone, izračunava se broj idealnih tavana i taj pomnoži sa *srednjim stepenom idealnosti* tavana, koji se određuje eksperimentalno ili u pogonu kao omjer između broja idealnih i broja faktičnih tavana za izvedenu kolonu.

Za volumni element $A dh$ punjene kolone (A je površina njena presjeka) (sl. 14) dobiva se kombiniranjem bilance apsorbirane tvari

$$L dx = G dy$$

sa jednadžbom za brzinu prelaza mase:

$$L dx = k_1 a (x_e - x) A dh = G dy = k_2 a (y - y_e) A dh,$$

iz čega se izračunava visina punjenog dijela kolone, h :

$$h = \frac{L}{k_1 a} \int_{x_u}^{x_1} \frac{dx}{x_e - x} = \frac{G}{k_2 a} \int_{y_u}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}.$$

Integrali u ovim jednadžbama predstavljaju brojeve koji kazuju koliko je puta srednja razlika koncentracije $x_e - x$, odnosno $y - y_e$, (tj. srednja razlika potencijala koji izaziva prenos mase) sadržana u ukupnoj razlici koncentracije (otopine odn. plinske smjese) koja nastaje apsorpcijom u koloni. Taj se broj naziva *brojem prenosnih jedinica* i označuje sa N_{11} odn. N_{1g} . On je analogan broju idealnih tavana u kaskadnoj koloni i poput njega predstavlja mjeru za teškoću provođenja apsorpcije u danom slučaju: što je broj prenosnih jedinica (ili idealnih tavana) veći to je odvajanje apsorpcijom teže provodljivo.

Izrazi ispred integrala u gornjim jednadžbama:

$$\frac{L}{k_1 a} = \frac{h}{N_{11}} \quad \text{i} \quad \frac{G}{k_2 a} = \frac{h}{N_{1g}},$$

Označi li se: sa L masa čistog otapala koja se pušta u jedinici vremena na jedinicu površine presjeka kolone, sa G analogna količina inertnog plina, sa x_u i y_u sastav otopine odn. plina na ulazu u kolonu (u jedinicama mase apsorbirane tvari na jedinicu mase čistog otapala odn. inertnog plina), a sa x_1 i y_1 analogni sastav tekućine i plina na izlazu iz tornja, može se napisati ova jednadžba, kao bilanca apsorbirane tvari preko cijelog tornja:

$$L(x_1 - x_u) = G(y_u - y_1),$$

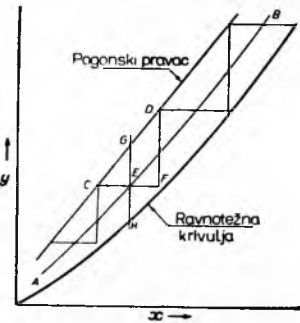
tj. količinu tvari koju je tekuća faza primila, plinovita je izgubila. U koordinatnom sistemu x, y to je jednadžba pravca koji prolazi kroz tačke x_u, y_1 i x_1, y_u (AB u sl. 13). Taj se pravac naziva *pogonskim pravcem*. Za kaskadnu kolonu na njemu leže tačke koje prikazuju sastav faza od koje jedna na određeni tavan dolazi a druga s njega odlazi (faza koje, dakle, nisu u ravnoteži); za punjenu kolonu taj pravac prikazuje kontinuiranu promjenu sastava obiju faza uzduž visine kolone. Sastav obiju faza na pojedinim tavanima kaskadne kolone prikazan je u istom koordinatnom sistemu tačkama na krivulji ravnoteže, ako su tavana idealni; ako tavana na poznat način odstupaju od idealnosti, figurativne tačke sastava faza na tavanima mogu se nacrtati uz pomoć *pojedinačnog stepena idealnosti* pojedinih tavana:

visina kolone podijeljena s brojem prenosnih jedinica, predstavljaju, prema tome, *visinu kolone ekvivalentnu jednoj prenosnoj jedinici* (kraće: visinu prenosne jedinice) i označuju se sa H_1 i H_g . To je ona visina kolone za koju je $N_1 = 1$, tj. na kojoj apsorpcijom nastaje upravo tolika razlika koncentracije koliko iznosi srednja razlika $x_e - x$ odn. $y - y_e$. Budući da koeficijenti prenosa mase rastu s brzinom strujanja plina odn. tekućine, dakle sa L i G , kvocijent te brzine i koeficijenta prenosa mase, dakle veličina H_1 ili H_g , mnogo je konstantniji i prema tome predstavlja mnogo bolju karakteristiku za određena prokapna tijela nego sami koeficijenti $k_1 a$ i $k_2 a$. Prednost im je također da imaju dimenziju dužine, dakle mnogo jednostavniju nego koeficijenti prelaza mase. Za mnoga prokapna tijela, u vezi s određenim tekućinama i plinovima,

visine prenosne jedinice određene su eksperimentalno i nalaze se u literaturi. S pomoću njih se visina punjenog dijela kolone izračunava, prema rečenome, množenjem sa brojem prenosnih jedinica:

$$h = H_{tg} \cdot N_{tg} = H_{tl} \cdot N_{tl}$$

Broj prenosnih jedinica može se izračunati grafički integracijom izraza $dx/(x_0 - x)$ ili $dy/(y - y_0)$, pri čemu se razlike $x_0 - x$ odn. $y - y_0$ prenose s dijagrama



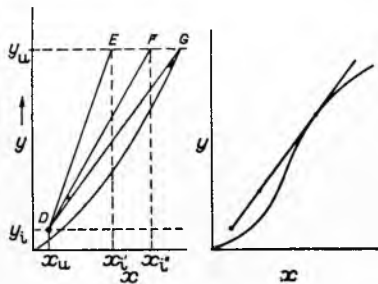
Sl. 15. Određivanje broja prenosnih jedinica u punjenoj koloni

je jednaka dužini GH , koja odgovara srednjoj razlici koncentracija $y - y_0$ između tačaka C i D , kako to traži definicija visine ekvivalentne jednoj prenosnoj jedinici. N_{tg} je broj stepenica koji se dobiva izvedeci tu konstrukciju između ulazne i izlazne koncentracije. Pri određivanju broja N_{tl} linija AB dijeli po polovici horizontalne razmake između pogonskog pravca i krivulje ravnoteže, a vertikalne dužine stepenica se nacrtaju tako da ih ta linija dijeli po polovici.

Ukupna visina kaskadne kolone dobiva se tako da se izračunati broj faktičnih tavana pomnoži s razmakom između horizontalnih pregrada, koji se bira prema većoj ili manjoj tendenciji tekućine da se pjeni i prema stepenu raspršivanja tekućine u kapljice (a taj zavisi također o izabranoj brzini strujanja plina), i doda koliko treba za glavu i dno kolone. Ukupna visina punjene kolone dobiva se time što se visini punjenog dijela pribroje visine onih dijelova kolone koji nisu ispunjeni prokapsnim tijelima.

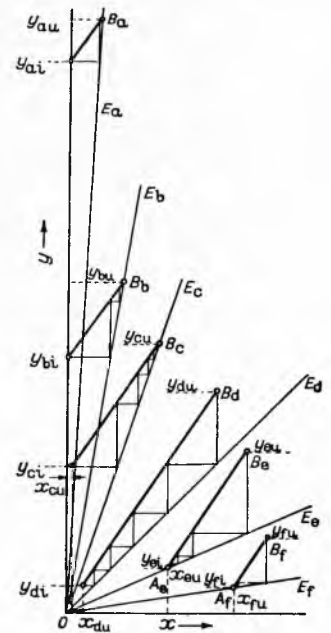
Određivanje odnosa L/G . Prije nego se naprijed navedeni račun i konstrukcije mogu provesti, potrebno je izabrati povoljan odnos L/G , odn. priklon pogonskog pravca. Ako iz plina s koncentracijom y_u topljive tvari (sl. 16) treba tekućinom početne koncentracije x_u apsorbirati tu sastojinu dok joj koncentracija u plinu padne na y_1 , koncentracija x_1 do koje će se moći obogatiti tekućina zavisi o priklonu pogonskog pravca: uz stromi pogonski pravac DE ta će koncentracija (x_1') biti manja nego kad je izabran pogonski pravac manjeg priklona, npr. DF (konačna koncentracija tekućine x_1''), ali će biti manji i broj idealnih tavana ili prenosnih jedinica. Najmanji mogući odnos L/G je onaj uz koji je tekućina na izlazu u ravnoteži s plinom koji ulazi (pravac DG), ili uz koji pogonski pravac tangira krivulju ravnoteže, jer u tim slučajevima na jednoj tački iščezavaju razlike $x_0 - x$ i $y - y_0$ pa potrebni broj idealnih tavana ili prenosnih jedinica postaje beskonačno velik. Niža koncentracija x_1 znači više apsorbenta i stoga veće pogonske troškove; veći broj idealnih tavana ili prenosnih jedinica znači višu kolonu i time veće troškove investicije. Ekonomskom bilancom treba utvrditi odnos L/G uz koji su ukupni troškovi (suma pogonskih i investicionih) po jedinici proizvoda najmanji. Tako određeni odnosi L/G u praksi su 20...100% veći od minimalnog.

Sl. 16. Odnos L/G u apsorpcijskim kolonama



otopine nedostaju zasad potrebni podaci. Među praktično idealne otopine spadaju, međutim, smjese ugljikovodika koje nastaju pri apsorpcijama provodenim u najvećem mjerilu u industriji nafte. Radi ilustracije proračuna u takvim slučajevima prikazat će se grafički postupak W. K. Lewisa.

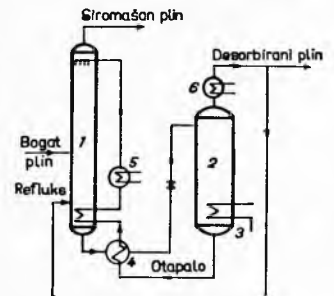
U zajedničkom se dijagramu x, y za svaku topljivu komponentu nacrtava ravnotežna linija i uz nju pogonski pravac paralelan pogonskom pravcu one lakše topljive komponente koja se još želi što potpunije ukloniti iz smjese, tzv. *ključne komponente*. Za ključnu komponentu konstruiraju se stepenice idealnih tavana ili prenosnih jedinica. Isti broj stepenica nanijet između linija ostalih komponenta, od datog sastava tekućine do datog sastava plina na njihovu ulazu, daje za svaku komponentu sastav plina i otopine na njihovu izlazu, a time i stepen apsorpcije ($y_u - y_1$)/ y_u . Pri toj konstrukciji mogu se od tri mjerađavne veličine nezavisno birati dvije, a treća je time određena: mogu se birati priklon pogonskog pravca i broj idealnih tavana (ili prenosnih jedinica) tako da stepen apsorpcije bude što povoljniji za komponente koje se žele apsorbirati; ili se, uz izabrani priklon pravca i stepen apsorpcije za određenu komponentu, može konstrukcijom dobiti potrebni broj idealnih tavana (prenosnih jedinica); ili, ako se fiksira broj idealnih tavana (prenosnih jedinica) i stepen apsorpcije, time je određen priklon pogonskog pravca. Sl. 17 pokazuje dijagram za plinsku smjesu od 6 komponentata (označene indeksima $a...f$), koja se ispire otopinom u kojoj se (nakon regeneracije) još nalaze manje količine srednje topljivih komponentata c i d , a znatnije količine najtopljivijih (najmanje hlapljivih) komponentata e i f . Priklon pogonskog pravca i broj tavana izabran je tako da je stepen apsorpcije za ključnu komponentu d najveći, a za teško topljive (lako hlapljive) plinove što manji. Taj isti broj tavana dovoljan je, za komponente manje topljive od ključne, da otopina koja izlazi bude praktično u ravnoteži s plinom koji ulazi (tačke B_a, B_b, B_c), a za komponente lakše topljive od ključne, da plin koji izlazi bude praktično u ravnoteži s otopinom koja ulazi (tačke A_a, A_f).



Sl. 17. Dijagram x, y za idealnu multikomponentnu smjesu

Kad plinska smjesa sadržava komponente s velikim rasponom topljivosti (odn. isparljivosti), a sve treba pri regeneraciji istjerati, velike se uštede topline mogu postići ako se apsorpcija provede u dvije ili više kolona uzastopce, svaka sa svojom regeneracijom. Tako se mogu najprije u jednoj koloni apsorbirati lakše topljive komponente s malim omjerom L/G , a u drugoj teže topljive sa znatno većom relativnom količinom otapala.

I pored razmjerno slabe topljivosti sastojina a i b (sl. 17) apsorbent ih u znatnim količinama otapa zbog toga što im je koncentracija u plinskoj smjesi velika. Treba li smanjiti koncentraciju tih komponentata u izlaznoj otopini, potrebno je učiniti nešto da ulazni plin, s kojim je ta otopina praktično u ravnoteži, sadržava manje tih hlapljivih sastojina. To se može postići npr. tako da se jedan dio izlazne otopine ispari i tako dobivena para — koja

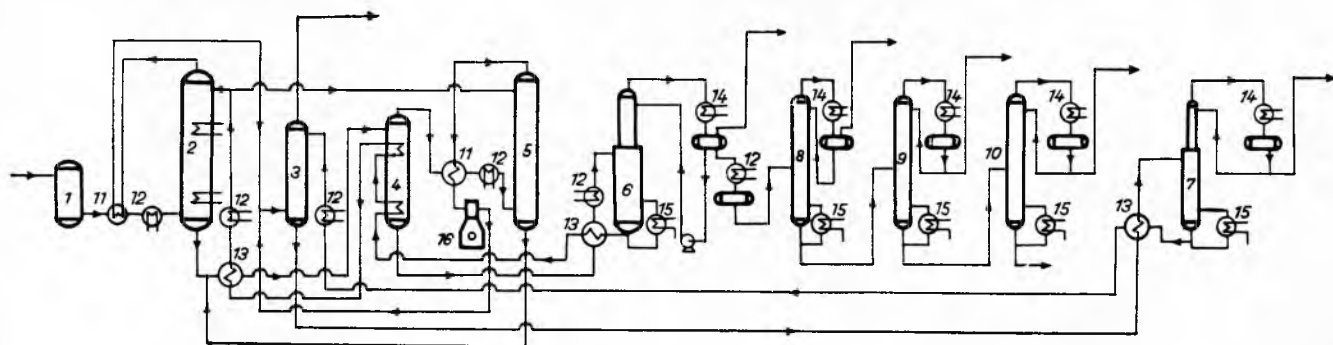


Sl. 18. Shema postrojenja za apsorpciju s refleksom. 1 stripier-apsorber, 2 desorber, 3 grijanje, 4 izmjenjivač topline, 5 hladilo, 6 kondenzator

Apsorpcija iz multikomponentnih smjesa. Kad u plinu ima više topljivih sastojina, proračun se može provesti samo kad je otopina koja nastaje apsorpcijom idealna; za neidealne

je siromašna lakše hlapljivim sastojinama plina — vraća na dno produžetka kolone ispod dovoda plina. Dio izlazne struje koji se vraća u kolonu (ne samo apsorpcionu, nego i adsorpcionu, destilacionu itd.) sa svrhom da se produkt obogati više nego što odgovara ravnoteži postignutoj protustrujnom izmjenom sa strujom koja se poji u kolonu, naziva se *refluksom*. Produžetak kolone ispod mjesta pojenja plinske smjese predstavlja kolonu za stripovanje, kojom se iz refleksa uklanjaju i posljednje količine lako hlapljivih komponenata. Stoga se takav aparat naziva također *striper-apsorber*. Sl. 18 pokazuje postrojenje u kojemu kao refluks služi jedan dio desorbiranog plina.

Stripovanje predstavlja operaciju suprotnu apsorpciji. Za proračun kolona za stripovanje vrijedi stoga sve što je rečeno o proračunu apsorpcijskih kolona, s time da se u dijagramima



Sl. 19. Shema postrojenja za ispiranje ugljikovodika pod pritiskom u dva stepena. 1 odvodnjavanje plina, 2 apsorber prvog stepena, 3 apsorber drugog stepena, 4 ekspander, 5 reapsorber, 6 kolona za regeneraciju prvog stepena, 7 kolona za regeneraciju drugog stepena, 8 kolona za izdvajanje frakcije C_2 destilacijom, 9 kolona za izdvajanje frakcije C_2 destilacijom, 10 kolona za razdvajanje frakcija C_4 i C_{4+} , 11 izmjenjivači topline plinova, 12 hladila, 13 izmjenjivači topline tekućina, 14 kondenzator, 15 isparivač, 16 kompresor

x , y pri stripovanju pogonski pravac nalazi ispod krivulje ravnoteže, jer se prenos mase zbiva od bogate tekućine na siromašni plin. Step desorpcije računa se s obzirom na sastav tekućine, tj. iznosi $(x_u - x_l)/x_u$. U ekonomskoj bilanci kojom se određuje priklon pogonskog pravca (odnos L/G), a kad se stripuje vodenom ili drugom parom čija proizvodnja zahtijeva utrošak toplinske energije, na rezultat će bitno utjecati činjenica da položeniji pogonski pravac u tom slučaju znači ne samo povećanje broja idealnih tavana (prenosnih jedinica) nego i povećanje utroška toplinske energije. Pri regeneraciji otapala nakon apsorpcije multikomponentnih smjesa, ključna komponenta pri desorpciji neće redovito biti ona ista koja je to bila pri apsorpciji, nego neka teže hlapljiva (lakše topljiva) komponenta koja se želi što potpunije ukloniti iz otopine. To je razlog zbog kojeg se mogu postići znatne uštede ako se lakše topljive sastojine odvojenim krugom apsorpcije-desorpcije prethodno uklone.

Potrošak energije u operaciji apsorpcije. Mehanička (odn. električna) energija troši se uglavnom za pumpanje tekućine u kolonu protiv pritiska u njoj i za tjeranje plina kroz kolonu za apsorpciju (i kolone za regeneraciju stripovanjem) protiv otpora na tavanima odn. među prokapsnim tijelima. Kad je pritisak u koloni visok, isplati se pustiti tekućinu po izlasku iz kolone kroz turbinu i tako rekuiperirati 50...75% energije utrošene za pumpanje. Otpor strujanja plina u kolonama zavisi poglavito o brzini strujanja plina, viskozitetu tekućine i konstrukciji tavana, odn. vrsti prokapsnih tijela. Pad pritiska u kaskadnim kolonama iznosi redovito 1...2 mm Hg po tavanu; u punjenim kolonama, uz brzinu strujanja plina koja izaziva potapanje kolone, pad pritiska kreće se za obično upotrebljavana prokapsna tijela oko 16 mm H_2O po decimetru visine punjenog dijela kolone; uz normalne brzine strujanja (~ 50% od brzine pri potapanju) može se računati sa ~ 4 mm H_2O/dm (otpor raste s kvadratom brzine strujanja).

Neke se apsorpcije (radi smanjenja količine otapala) provode na nižim temperaturama; u takvim slučajevima troši se mehanička odn. električna energija i za pogon rashladnog stroja.

Toplinska energija troši se isključivo za regeneraciju otapala. Toplinska regeneracija sastoji se od toplinske desorpcije otopljenih plinova, toplinske potrebne za destilaciju ili za stripovanje (npr. vodenom parom), toplinske za dogrijavanje otopine u toku regeneracije i gubitaka toplinske u okolinu.

Kad se apsorpcija plina vrši pod pritiskom, otapalo se može ponekad regenerirati samom ekspanzijom bogate otopine; budući da je toplinska desorpcije (na istoj temperaturi) jednaka toplini apsorpcije, otopina toplinu potrebnu za regeneraciju donosi sobom već od prethodne operacije i za regeneraciju otapala nije potrebno grijanje. Često se poslije ekspanzije ostaci otopljenog plina istjeraju iz otopine stripovanjem, a iz plina dobivenog ekspanzijom multikomponentnih smjesa se teže hlapljive sastojine ponekad ponovo apsorbiraju u koloni za reapsorpciju. Pri stripovanju vodenom parom u potrošak toplinske treba računati i toplinu potrebnu za proizvodnju pare. U drugim slučajevima opet, naročito kad su apsorbirani plinovi topljivi u vodi, stripovanje se obavlja parom samog otapala, koja se proizvodi grijanjem tekućine u kotliću na dnu kolone. Desorpcija stripovanjem prelazi time u stvari

u desorpciju destilacijom (v. *Destilacija*). Pri provedbi apsorpcije u tehnici često se kombinira više tih načina desorpcije, uz iskorištavanje toplinske jedne struje za predgrijavanje drugih, i tako se postizava maksimalna ekonomija toplinom (sl. 19).

LIT.: T. K. Sherwood i R. L. Pigford, *Absorption and extraction*, New York 1952. — R. E. Treybal, *Mass transfer operations*, New York 1955. — K. Thormann, *Absorption*, Berlin 1959. — A. L. Kohl i F. C. Riessfeld, *Gas purification*, New York 1960. R. Py.

ARHITEKTURA. Arhitektonska djelatnost predstavlja u biti umijeće izgradnje građevina sa svrhom stvaranja unutarnjih organiziranih prostora namijenjenih najrazličitijim potrebama čovjekova života i njegove aktivnosti. U tome vidu osnovni su elementi arhitekture: definirani unutarnji *arhitektonski prostor*, namijenjen određenoj svrsi (stanovanju, radu, kretanju, odmoru, kulturnom životu, meditaciji, sahranjivanju itd.), i *arhitektonsko tijelo*, koje svojom konstruktivnom komponentom ostvaruje i zaštićuje spomenuti unutarnji arhitektonski prostor, a svojom kompoziciono-oblikovnom komponentom usklađuje pojedine konstruktivne elemente (volumene, zidove, stupove, otvore itd.) te ih povezuje u harmoničnu cjelinu.

Cjelovita arhitektonska kreacija sastoji se od rješenja dviju osnovnih grupa komponenata, od kojih je jedna tehničke prostorno-konstruktivne prirode, a druga je idejne i emotivne prostorno-doživljajne i oblikovno-doživljajne naravi.

Prva komponenta, koja određuje lokaciju i orijentaciju, organizira i povezuje prostore te definira kvantitete (veličine prostora, dimenzije konstrukcije), materijal, konstrukciju itd., rješava se na temelju analize funkcije objekta i statičke stabilnosti konstrukcije. Ovu analizu provodi autor na osnovi spoznaje zakonitosti u nizu društvenih, prirodnih i tehničkih nauka, kao što su nauka o razvoju i organizaciji ljudskoga društva, biologija, statistika, nauka o projektiranju, nauka o konstrukcijama, nauka o čvrstoći materijala, statika i mnoge druge.

Druga komponenta, koja ostvaruje snagu izraza i harmonije, profil ili još više fizionomiju određenoga objekta, komponenta u vrijednosti koje se zrcale idejnost i emotivnost, težnje i čuvstva jedne određene epohe društvenoga razvoja na određenome tlu i unutar određene etničko-političke cjeline, nastaje kao stvaralački umjetnički odraz specifično spoznate objektivne životne stvarnosti, riješen na podlozi kreatorovih ličnih idejnih i emotivnih