

VPLYV TEPLoty NA DYNAMIKU ADSORPCIE V KONTINUITNE  
PRACUJÚCICH KOLÓNACH (II)

Š. KACHAŇÁK, J. VALTÝNI

Katedra anorganickej technológie Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave

V predchádzajúcej práci [1] sa vyjadrili rovnice závislosti pracovnej výšky vrstvy od teploty a definovali sa vzťahy pre výpočet zmien rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér pre prípad, že stupeň nasýtenia adsorbenta pri jeho odbere z kolóny je pri rôznych teplotách konštantný. Pretože však stále menenie rýchlosti postupu vrstvy pri teplotných zmenách by značne zaťažilo prevádzku, je účelnejšie robiť zásahy do rýchlosti postupu vrstvy len pri takých teplotných zmenách, pri ktorých je kapacita adsorbenta vystupujúceho z kolóny menšia než množstvo adsorbátu, ktoré sa za ten istý čas do systému dodáva, čo by narušilo stabilitu kontinuálneho procesu. Z týchto dôvodov je potrebné vyjadriť závislosť pracovnej výšky vrstvy od teploty pri konštantnej rýchlosti odberu a stanoviť maximálne hodnoty teplotných zmien, v rozsahu ktorých nedôjde k postupnému stúpaniu pracovnej výšky cez adsorbér, i keď rýchlosť odberu adsorbenta z kolóny je konštantná. Pri výpočtoch sa bude opäť vychádzať z teórie dynamiky adsorpcie kontinuitne pracujúcich kolón [2—5].

*a) Závislosť pracovnej výšky vrstvy od teploty pri konštantnej rýchlosti odberu*

Výpočty sa urobia pre aktívne uhlie druhého štruktúrneho typu, pre ktoré sa pre pracovnú výšku vrstvy odvodila rovnica (1):

$$\frac{\beta}{w} \cdot L_0 = \frac{kT}{1 - kT} \cdot \ln \frac{1 - q \cdot \frac{1}{kT} \cdot Q \cdot \frac{1}{kT} - 1}{\left(1 - q \cdot \frac{1}{kT}\right) \cdot Q \cdot \frac{1}{kT} - 1} \quad (1)$$

Konštanta  $k$  vyjadruje komplex  $\frac{A}{2,3 \cdot \beta_a}$ , kde  $A$  je Dubininova konštanta a  $\beta_a$  afinitný koeficient.

Deriváciou tejto rovnice podľa teploty a úpravou takto vzniknutého výrazu na bezrozmerný tvar sa dospeje k rovnici

$$\left( \frac{\partial \left( \frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial \ln T} \right)_{p,Q,r} = \frac{1}{1-kT} \cdot \left\{ \frac{\beta}{w} \cdot L_0 + \frac{\ln Q}{1-q \cdot \frac{1}{kT} \cdot \frac{1}{kT} - 1} - \frac{1-Q \cdot \frac{1}{kT} - 1}{1-q \cdot \frac{1}{kT} \cdot \frac{1}{kT} - 1} \cdot \frac{q \cdot \frac{1}{kT}}{1-q \cdot \frac{1}{kT}} \cdot \left[ \ln q - \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,r} \right] \right\} \quad (2)$$

Bezrozmerná veličina  $\left( \frac{\partial \left( \frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial \ln T} \right)_{p,Q,r}$  sa označí  $T \cdot F_r$ . Z porovnania s obdobným výrazom  $T \cdot F_q$  [1], ktorý charakterizuje zmenu pracovnej výšky vrstvy s teplotou pri konštantnom stupni nasýtenia na dne vrstvy  $q$ , vyplýva:

$$T \cdot F_r = T \cdot F_q + \frac{1}{1-kT} \cdot \frac{1-Q \cdot \frac{1}{kT} - 1}{1-q \cdot \frac{1}{kT} \cdot \frac{1}{kT} - 1} \cdot \frac{q \cdot \frac{1}{kT}}{1-q \cdot \frac{1}{kT}} \cdot \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,r} \quad (3)$$

Rovnica (3) sa môže napísať v tvare

$$T \cdot F_r = T \cdot F_q + \Phi \cdot \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,r} \quad (4)$$

Veličina  $\Phi$  nezávisí od individuálnych charakteristík adsorbátu, ale len od veličín charakterizujúcich sústavu adsorbent—adsorbát.

Podobne ako  $T \cdot F_q$  možno i  $\Phi$  vyjadriť ako funkciu  $k \cdot T$  a ďalších dvoch premenných ľubovoľne vybraných z trojice  $q, Q, \frac{\beta}{w} \cdot L_0$  [1]. Príslušné rovnice sú:

$$\Phi = \frac{1}{1-kT} \cdot \frac{1-Q \cdot \frac{1}{kT} - 1}{1-q \cdot \frac{1}{kT} \cdot \frac{1}{kT} - 1} \cdot \frac{q \cdot \frac{1}{kT}}{1-q \cdot \frac{1}{kT}} \quad (5)$$

$$\Phi = \frac{1}{1-kT} \cdot \frac{E-1}{E} \cdot \frac{q \cdot \frac{1}{kT}}{1-q \cdot \frac{1}{kT}} \quad (6)$$

$$\Phi = \frac{1}{1-kT} \cdot \frac{E-1}{E} \cdot \frac{E \cdot Q \cdot \frac{1}{kT} - 1}{1-Q \cdot \frac{1}{kT} - 1} \quad (7)$$

V týchto rovniciach je:

$$E = e \frac{1-kT}{kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0 \quad (8)$$

Z rovníc (5—8) sa vyjadrili hraničné podmienky sústavy

$$\begin{aligned} \lim_{q \rightarrow 1} \Phi &= \lim_{Q \rightarrow 1} \Phi = \infty \\ \frac{\beta}{w} \cdot L_0 &= \text{konšt.} \quad \frac{\beta}{w} \cdot L_0 = \text{konšt.} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \lim_{\frac{\beta}{w} \cdot L_0 \rightarrow \infty} \Phi &= \lim_{Q \rightarrow 0} \Phi = \frac{1}{1-kT} \cdot \frac{q \frac{1}{kT}}{1-q \frac{1}{kT}} \\ q &= \text{konšt.} \quad q = \text{konšt.} \end{aligned} \quad (10)$$

Pomocou rovníc (5—10) sa zostrojili teoretické krivky závislosti  $\Phi$  od  $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$  pre  $q = \text{konšt.}$  a  $Q = \text{konšt.}$  [1], čo umožňuje extrapolovať  $\Phi$  pre ľubovoľnú dvojicu  $q, Q$ ,  $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ , pretože tieto sú vzájomne funkčne späté rovnicou (1). Tieto krivky sú zakreslené na obr. 1. Logaritmicke vyjadrenie funkcie  $\Phi$  umožnilo znázorniť celý dôležitý rozsah.

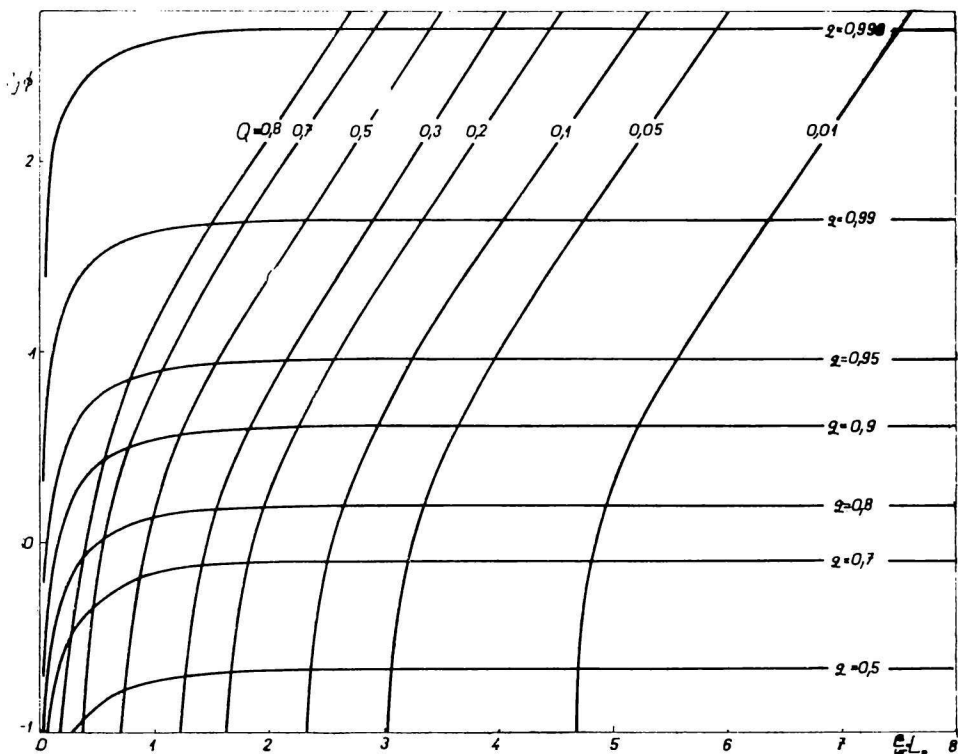
Obdobne ako sa odvodila veličina  $G_q$  [1], vyjadrí sa aj veličina  $G_r$ , ktorá je definovaná výrazom  $\frac{w \cdot F_r}{\beta \cdot L_0}$  a vyjadruje stupeň zmeny teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy s teplotou. Z definície tejto veličiny vyplýva:

$$T \cdot G_r = T \cdot G_q + \frac{\Phi \cdot w}{\beta \cdot L_0} \cdot \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,r} \quad (11)$$

Veličina  $\frac{\Phi \cdot w}{\beta \cdot L_0}$  má obdobný význam ako  $\Phi$  a nazve sa  $\Gamma$ . Vyjadrí sa opäť tromi rovnicami [1]:

$$\Gamma = \frac{\frac{1}{kT}}{q} \cdot \frac{1 - Q \frac{1}{kT} - 1}{1 - q \frac{1}{kT} \cdot Q \frac{1}{kT} - 1} \cdot \ln \frac{1 - q \frac{1}{kT} \cdot Q \frac{1}{kT} - 1}{\left(1 - q \frac{1}{kT}\right) \cdot Q \frac{1}{kT} - 1} \quad (12)$$

$$\Gamma = \frac{1}{kT} \cdot \frac{E - 1}{E \cdot \ln E} \cdot \frac{q \frac{1}{kT}}{1 - q \frac{1}{kT}} \quad (13)$$



Obr. 1. Teoretické krivky závislosti  $\ln \phi$  od  $\frac{\beta}{w}$ .  $L_0$  pre  $kT = 1/3$  a pre rôzne hodnoty stupňa vyčistenia plynu a stupňa nasýtenia na dve vrstvy.

$$\Gamma = \frac{1}{kT} \cdot \frac{E-1}{E \cdot \ln E} \cdot \frac{E \cdot Q \frac{1}{kT} - 1}{1 - Q \frac{1}{kT} - 1} \quad (14)$$

Hraničné podmienky sústavy sú:

$$\lim_{q \rightarrow 0} \Gamma = 0 \quad (15)$$

$Q = \text{konšt.}$

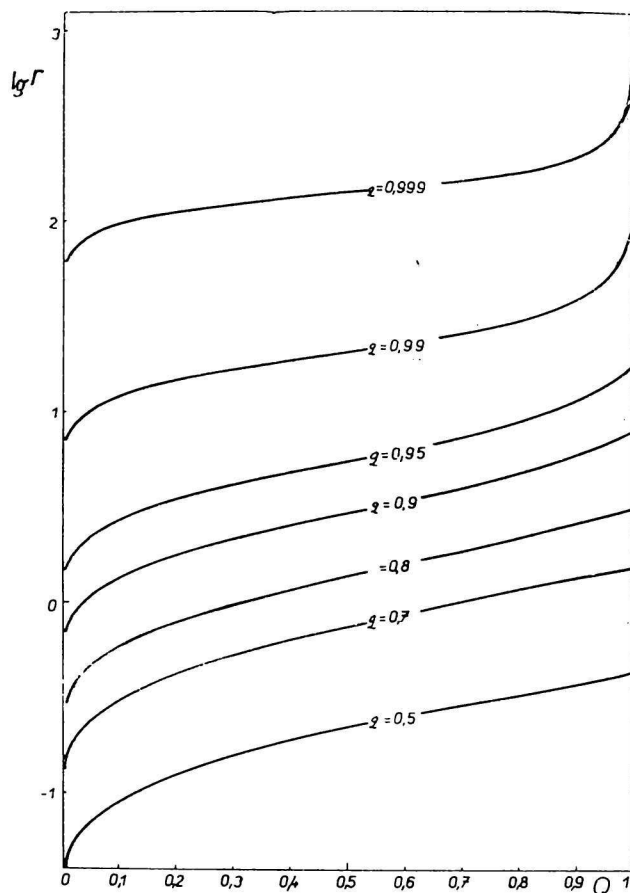
$$\lim_{q \rightarrow 1} \Gamma = \infty \quad (16)$$

$Q = \text{konšt.}$

$$\lim_{Q \rightarrow 1} \Gamma = \frac{1}{kT} \cdot \frac{q \frac{1}{kT}}{1 - q \frac{1}{kT}} \quad (17)$$

$q = \text{konšt.}$

Pomocou rovníc (12—17) sa opäť zostrojili teoretické krivky, z ktorých sa extrapoluje  $\Gamma$  pre dôležitý rozsah hodnôt  $q$ ,  $Q$ ,  $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ . Veličina  $\Gamma$  na obr. 2 je opäť v logaritmickom tvare ako funkcia  $Q$  pre  $q = \text{konšt.}$



Obr. 2. Teoretické krivky závislosti  $\ln \Gamma$  od  $Q$  pre  $kT' = 1/3$  a pre rôzne hodnoty stupňa nasýtenia na dne vrstvy.

Vychádzajúc z materiálovej bilancie procesu [5], nasýtenie adsorbenta pri jeho odbere z kolóny je vyjadrené rovnicou

$$x_0 = \frac{C_0 \cdot w}{r} \quad (18)$$

Ak sa pri zmene teploty neurobí zásah do prietoku, zmení sa fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi v adsorbéri  $w$  a koncentrácia adsorbátu v pôvodnej zmesi  $C_0$  tak, že súčin  $w \cdot C_0$  ostane približne konštantný [1]. Pri konštantnej rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér  $r$  je teda i  $x_0$  konštantné.

Z definície bezrozmerného argumentu  $q$  vyplýva [2]:

$$\left(\frac{\partial \ln q}{\partial \ln T}\right)_{p,x_0} = -\left(\frac{\partial \ln a}{\partial \ln T}\right)_p \quad (19)$$

Z rovnice adsorpčnej izotermy pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia [1] sa odvodila rovnica

$$\left(\frac{\partial \ln a}{\partial \ln T}\right)_p = k \cdot T \cdot \left[ \ln p - \frac{d(T \cdot \ln p_s)}{dT} \right] - \alpha \cdot T \quad (20)$$

V rovniciach (19, 20) je  $a$  rovnovážne nasýtenie adsorbenta a  $\alpha$  koeficient tepelnej rozťažnosti adsorbenta pri pracovnej teplote  $T$ . Pretože v úzkej teplotnej oblasti závislosť tlaku nasýtených pár adsorbátu od teploty vyjadruje výraz  $\ln p_s = a' - \frac{b}{T}$  [1], po príslušnej úprave rovnice (20) a po zavedení veličiny  $p_r^* = \frac{p}{p^*}$ , kde  $p^* = e^{a'}$  [1], dospeje sa k výslednému vzťahu:

$$\left(\frac{\partial \ln a}{\partial \ln T}\right)_p = (k \cdot \ln p_r^* - \alpha) \cdot T \quad (21)$$

So zreteľom na platnosť rovnice (19) sa záporná hodnota výrazu z rovnice (21) dosadí do rovnice (4), čím sa po úprave dospeje k bezrozmernému vzťahu:

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial \ln T}\right)_{p,Q,r,x_0} = T \cdot F_q + k \cdot T \cdot \Phi \cdot \left(\frac{\alpha}{k} - \ln p_r^*\right) \quad (22)$$

Výraz na ľavej strane rovnice (22) sa označí  $T \cdot F_{r,x_0}$ .

Obdobne možno definovať  $T \cdot G_{r,x_0}$ :

$$T \cdot G_{r,x_0} = T \cdot G_q + k \cdot T \cdot \Gamma \cdot \left(\frac{\alpha}{k} - \ln p_r^*\right) \quad (23)$$

Pretože je vždy  $\alpha > 0$ ;  $k > 0$ ;  $\ln p_r^* < 0$ , musí byť  $F_{r,x_0} > F_q$  a  $G_{r,x_0} > G_q$ . To znamená, že pri konštantnej rýchlosti odberu sa so stúpajúcou teplotou pracovná výška vrstvy predlžuje rýchlejšie než pri konštantnom nasýtení na dne vrstvy. Na predĺženie pracovnej výšky s teplotou okrem zmenšenia zakrivenia adsorpčnej izotermy pôsobí ďalší faktor, a to zmenšenie kapacity adsorbenta rastom teploty, spôsobujúce zvýšenie hodnoty  $q$ , ktorej rastom sa tiež musí pracovná výška predlžovať. Veľkosť týchto zmien možno pre príslušné pracovné podmienky bilancovať z rovníc (22, 23).

Rovnice (19, 22, 23) sa odvodili pre prípad, keď sa pri zmene teploty neurobí zásah do prevádzky, teda keď rýchlosť postupu vrstvy i súčin  $C_0 \cdot w$  ostanú konštantné. Je potrebné ešte odvodiť rovnice, keď pri konštantnej rýchlosti odberu pri zmene teploty sa stále udržuje konštantná lineárna rýchlosť plynnej zmesi v adsorbéri. V tomto prípade pre zmenu pracovnej výšky vrstvy s teplotou platí:

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial \ln T}\right)_{p,Q,r,w} = T \cdot F_q + \Phi \cdot \left(\frac{\partial \ln q}{\partial \ln T}\right)_{p,r,w} \quad (24)$$

Výraz na ľavej strane rovnice (24) sa obdobne označí  $T \cdot F_{r,w}$ . Vychádzajúc z rovnice (18) a zo stavovej rovnice ideálneho plynu, odvodí sa vzťah

$$\left(\frac{\partial \ln q}{\partial \ln T}\right)_{p,r,w} = - \left[ 1 + \left(\frac{\partial \ln a}{\partial \ln T}\right)_p \right] \quad (25)$$

Po dosadení výrazu z rovnice (21) do rovnice (25) sa rovnica (24) upraví na tvar

$$T \cdot F_{r,w} = T \cdot F_q + k \cdot T \cdot \Phi \cdot \left( \frac{\alpha}{k} - \ln p_r^* - \frac{1}{k \cdot T} \right) \quad (26)$$

Vždy musí teda byť  $F_{r,w} < F_r$  a  $G_{r,w} < G_r$ , čo je spôsobené tým, že pri zvýšení teploty a konštantnom  $p$ ,  $w$  mierne klesá  $C_0$  a tým i  $x_0$ , čo čiastočne kompenzuje nepriaznivý vplyv teploty na kapacitu adsorbenta. Pretože čím menšia je hodnota  $k \cdot T$ , tým prudšie stúpa adsorpčná izoterma, takže s poklesom  $k \cdot T$  musí sa tento vplyv zväčšovať, čo je v zhode s rovnicou (26). Túto skutočnosť potvrdzuje aj materiálová bilancia procesu, podľa ktorej

$$\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_w = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad (27)$$

Teda rastom teploty má byť vždy  $\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_w < \left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{x_0}$ . Z rozboru vyššie uvedených rovníc sa dospelo k záveru, že zmena koncentrácie pri prevádzkových teplotných výkyvoch podstatne nevlýva na hodnotu pracovnej výšky vrstvy.

Zovšeobecnením rovníc (4, 11) sa odvodil všeobecný vzťah:

$$T \cdot F_* = \left( \frac{\partial \left( \frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial \ln T} \right)_{p,q,*} = T \cdot F_q + \Phi \cdot \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,*} \quad (28)$$

Obdobne sa môže písať:

$$T \cdot G_* = \left( \frac{\partial \left( \ln \frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial \ln T} \right)_{p,Q,*} = T \cdot G_q + \Gamma \cdot \left( \frac{\partial \ln q}{\partial \ln T} \right)_{p,*} \quad (29)$$

Hviezdička v indexe v rovniciach (28, 29) označuje všetky veličiny, ktoré sú za daných podmienok konštantné. Preto na úplný opis daného systému za ľubovoľných podmienok stačí poznať  $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ ,  $T \cdot F_q$  a  $\Phi$  (resp.  $T \cdot G_q$  a  $\Gamma$ ) a vie sa vyjadriť  $\frac{\partial \ln q}{\partial \ln T}$  za týchto podmienok.

Vychádzajúc z rovníc (28, 29), zmena pracovnej výšky vrstvy s teplotou [1] pri rôznych prevádzkových podmienkach sa vypočíta z rovníc:

$$\left(\frac{\partial \ln L_0}{\partial T}\right)_{p,Q,*} = G_* - \left(\frac{\partial \ln \frac{\beta}{w}}{\partial T}\right)_p \quad (30)$$

$$\left(\frac{\partial \ln L_0}{\partial T}\right)_{p,Q,w,*} = G_{w,*} - \left(\frac{\partial \ln \beta}{\partial T}\right)_p \quad (31)$$

Diferenciálne výrazy na pravej strane týchto rovníc je najvhodnejšie stanoviť z experimentálne stanovených hodnôt [1].

b) *Vyjadrenie maximálne prípustných teplotných zmien pri konštantnej rýchlosti odberu*

Pri konštantnej rýchlosti odberu je pri  $C_0 \cdot w = \text{konšt.}$  až do maximálne prípustnej teplotnej zmeny  $\Delta T_m$  i nasýtenie adsorbenta na dne vrstvy  $x_0$  konštantné, čím rovnicu materiálovej bilancie procesu možno upraviť na tvar

$$\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{x_0} = \frac{a_1}{a_2} \quad (32)$$

Pretože tlak pár adsorbátu sa pri teplotných zmenách nemení, možno rovnovážne hodnoty vyjadriť zodpovedajúcimi výrazmi z rovníc adsorpčných izoteriem pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia pre teploty  $T_1$ ,  $T_2$  a  $p = \text{konšt.}$  Po úprave vychádza:

$$\left(\ln \frac{q_2}{q_1}\right)_{x_0} = (\alpha - k \cdot \ln p_r^*) \cdot \Delta T \quad (33)$$

So vzrastom teploty kapacita adsorbenta stále klesá. Ak klesne natoľko, že  $a = \frac{w \cdot C_0}{r}$ , dodáva sa do vrstvy viac adsorbátu, než táto môže adsorbovať, čím sa naruší stabilita prevádzky a adsorbát musí stále viac cez vrstvu prenikať. Preto je potrebné určiť maximálne prípustnú zmenu teploty  $\Delta T_m$ , pri ktorej bude ešte prevádzka stabilná. Hodnota  $\Delta T_m$  je daná prevádzkovými podmienkami a pri jej dosiahnutí musí byť splnená podmienka  $a_2 = x_0$ , teda  $q_2 = 1$ . Po dosadení za  $q_2$  do rovnice (33) vychádza:

$$\Delta T_m = \frac{-\ln q_1}{(\alpha - k \cdot \ln p_r^*)} \quad (34)$$

Rovnica (33) umožňuje vypočítať  $\Delta T_m$  pre rôzne hodnoty stupňa nasýtenia na dne vrstvy pri pôvodnej teplote alebo stanoviť príslušnú hodnotu stupňa nasýtenia pri maximálnych teplotných výkyvoch predpokladaných v prevádzke. K rovnici (34) sa dospeje aj z rovnice (21), do ktorej sa dosadí výraz z rovnice (19) a integruje sa v hraniciach  $q$ . 1 a  $T_1$ ,  $T_2$ .

Ak sa pri teplotných zmenách udržuje konštantná lineárna rýchlosť plynnej zmesi, nie je pri konštantnej rýchlosti odberu nasýtenie na dne vrstvy konštantné, pretože pri konštantnom tlaku pár adsorbátu mení sa s teplotou jeho koncentrácia. Materiálovú bilanciu sústavy možno vyjadriť z rovnice (27).

Po dosadení výrazu z rovnice (33) do rovnice (27) vychádza:

$$\left(\ln \frac{q_2}{q_1}\right)_w = (\alpha - k \cdot \ln p_r^*) \cdot (\Delta T_m)_w + \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (35)$$

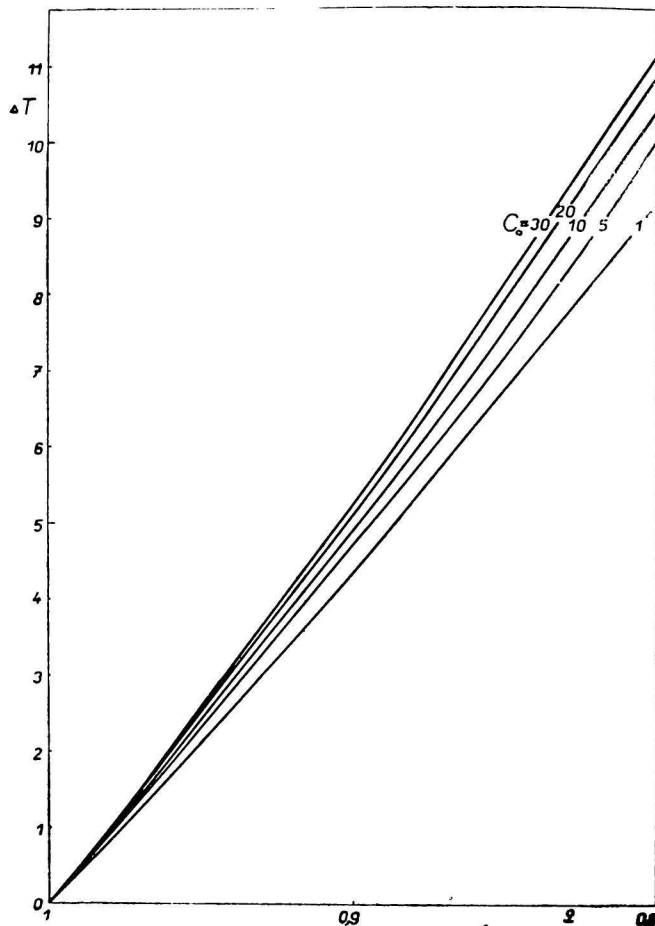
$$(\Delta T_m)_w = \frac{-\left(\ln q_w + \ln \frac{T_1}{T_2}\right)}{\alpha - k \cdot \ln p_r^*} \quad (36)$$

K tejto rovnici sa dospeje aj z rovnice (21), do ktorej sa dosadí výraz z rovnice (25) a integruje sa v hraniciach  $(q)_w$ , 1 a  $T_1$ ,  $T_2$ .

Veľkosť maximálne prípustných teplotných zmien spôsobených zmenou adsorpčnej kapacity adsorbenta s teplotou sa bude komentovať na príklade adsorpcie sírouhlika na aktívnom uhlí Supersorbon, pre ktorú sa pri prevádzkových teplotách a nízkych koncentráciách dokázala platnosť rovnice (1) [2, 6]. Na obr. 3 sú zakreslené krivky závislosti



maximálne prípustných teplotných zmien od stupňa nasýtenia na dne vrstvy pri 22 °C, ktoré sa získali z údajov o adsorpčných rovnováhach [6] pomocou rovnice (34). Krivky sa uvádzajú pre rôzne koncentrácie sírouhlika v nosnom plyne od 1 do 30 g/m<sup>3</sup>. Pri nasýtení na dne vrstvy na hodnotu  $q_1 = 0,99$ , aby prevádzka bola stabilná, môže sa teplota zvýšiť



Obr. 3. Vyjadrenie maximálne prípustných teplotných zmien pri adsorpcii sírouhlika na aktívnom uhlí Supersorbon.

len o 0,5 °C. Pri nasýtení na  $q_1 = 0,95$  môže sa teplota v uvádzanom koncentračnom rozsahu zvýšiť o 2,3—2,6 °C a pri  $q_1 = 0,90$  o 4,7—5,3 °C. Je preto potrebné pri vysokých hodnotách  $q_1$  počítať v prevádzke s rezervnou vrstvou adsorbenta alebo bilancovať kontinuálny proces pre  $q_1$  v oblasti 0,95, čím sa i pri značných teplotných výkyvoch zaručí stabilita prevádzky. Pretože vzrastom koncentrácie sa zvyšuje adsorpčná kapacita, musí sa jej rastom pri konštantnom  $q_1$  zvyšovať i hodnota  $\Delta T_m$ . Z rovníc (32—34)

vyplýva, že uvádzané krivky vyjadrujú zároveň závislosť  $\frac{a_1}{a_2}$  a  $\left(\frac{q_2}{q_1}\right)_{x_0}$  od  $T$ , čo umožňuje stanoviť zmenu stupňa nasýtenia pri rozličných pracovných podmienkach prevádzky.

Ďakujeme prom. mat. P. Brunovskému za zostavenie programu a za vykonanie numerických výpočtov hodnôt teoretických kriviek na programovom stroji.

### Symbols

- $a$  — rovnovážne nasýtenie adsorbenta
- $a', b$  — konštanty v rovnici  $\ln p_s = a' - \frac{b}{T}$
- $A$  — Dubininova konštanta pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia
- $E$  —  $e^{\frac{1-kT}{kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0}$
- $F_r$  —  $\left(\frac{\partial\left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial T}\right)_{p,Q,r}$
- $F_{r,w}$  —  $\left(\frac{\partial\left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial T}\right)_{p,Q,r,w}$
- $F_{r,x_0}$  —  $\left(\frac{\partial\left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial T}\right)_{p,Q,r,x_0}$
- $F_q$  —  $\left(\frac{\partial\left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}{\partial T}\right)_{p,q,Q}$
- $G_r$  —  $\frac{w \cdot F_r}{\beta \cdot L_0}$
- $G_{r,w}$  —  $\frac{w \cdot F_{r,w}}{\beta \cdot L_0}$
- $G_{r,x_0}$  —  $\frac{w \cdot F_{r,x_0}}{\beta \cdot L_0}$
- $G_q$  —  $\frac{w \cdot F_q}{\beta \cdot L_0}$
- $k$  —  $\frac{A}{2,3 \cdot \beta_a}$
- $L_0$  — pracovná výška vrstvy kontinuítých adsorpčných kolón
- $p$  — pôvodný tlak adsorbátu v plynnej zmesi
- $p_s$  — tlak nasýtených pár adsorbátu v plynnej zmesi pri pracovnej teplote
- $p^*$  —  $ea^*_{ij}$
- $p_r^*$  —  $\frac{p}{p^*}$
- $q$  — stupeň nasýtenia adsorbenta pri jeho odbere z kolóny
- $Q$  — stupeň koncentrácie v rôznych výškach pracovnej vrstvy
- $r$  — rýchlosť postupu vrstvy cez kolónu

- $w$  — fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi v kolóne  
 $x_0$  — nasýtenie adsorbenta pri jeho odbere z kolóny  
 $\alpha$  — koeficient tepelnej rozťažnosti adsorbátu  
 $\beta$  — rýchlostná konštanta  
 $\beta_a$  — afinitný koeficient  
 $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$  — bezrozmerný argument pre vyjadrenie teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy  
 $\Delta T_m$  — maximálne prípustná teplotná zmena, pri ktorej pri konštantnej rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér zostáva prevádzka stabilná  
 $\Phi$  — bezrozmerný výraz v rovnici (4) nezávislý od individuálnych charakteristík adsorbátu  
 $\Gamma$  —  $\frac{w \cdot \Phi}{\beta \cdot L_0}$

### Súhrn

Vyjadrili sa rovnice zmien teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy kontinuitne pracujúcich adsorpčných kolón s teplotou pre aktívne uhlie druhého štruktúrneho typu a pre prípad, keď rýchlosť postupu vrstvy cez adsorbér je pri teplotných zmenách konštantná. Definovali sa hraničné podmienky sústavy a vyjadrila sa funkcionálna závislosť pracovnej výšky vrstvy kontinuitne pracujúcich adsorpčných kolón od teploty. Odvodila sa všeobecná rovnica zmeny teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy s teplotou pri ľubovoľných prevádzkových podmienkach práce kontinuitnej kolóny. Takisto sa vyjadrili rovnice na výpočet maximálnych teplotných zmien, pri ktorých pri konštantnej rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér nedôjde k narušeniu stability prevádzky.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИНАМИКУ АДСОРБЦИИ В НЕПРЕРЫВНО РАБОТАЮЩИХ КОЛОННАХ (II)

Ш. КАХАНЯК, Я. ВАЛТИНИ

Кафедра неорганической технологии Словацкой высшей технической школы  
в Братиславе

Были выведены уравнения изменений теоретической кривой рабочей высоты слоя непрерывно работающих адсорбционных колонн с температурой для активного угля второго структурного типа и случай, когда скорость передвижения слоя через адсорбер при температурных изменениях остается постоянной. Были определены предельные условия системы и была определена функциональная зависимость рабочей высоты слоя непрерывно работающих адсорбционных колонн от температуры. Было найдено общее уравнение изменения теоретической кривой рабочей высоты слоя с температурой при любых условиях эксплуатации непрерывной колонны. Также были найдены уравнения для исчисления максимальных температурных изменений, у которых при постоянной скорости передвижения слоя через адсорбер стабильность работы не нарушается.

Поступило в редакцию 7. 4. 1962 г.

EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE ADSORPTIONSDYNAMIK  
IN KONTINUIERLICH ARBEITENDEN KOLONNEN (II)

Š. KACHAŇÁK, J. VALTÝNI

Lehrstuhl für anorganische Technologie an der Slowakischen Technischen Hochschule  
in Bratislava

Es wurden die Gleichungen für die Änderungen der theoretischen Kurve der Arbeitshöhe der Schicht in kontinuierlich arbeitenden Adsorptionskolonnen mit der Temperatur erfasst, u. zw. für Aktivkohle des zweiten Strukturtyps, und für den Fall, dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Schicht durch den Adsorber bei Temperaturänderungen konstant ist. Es wurden die Grenzbedingungen des Systems definiert und das Funktionsverhältnis der Arbeitshöhe der Schicht kontinuierlich arbeitender Adsorptionskolonnen von der Temperatur ausgedrückt. Ferner wurde eine allgemeine Gleichung für die Änderung der theoretischen Kurve der Arbeitshöhe der Schicht mit der Temperatur bei beliebigen Betriebsbedingungen der Arbeit von kontinuierlich arbeitenden Kolonnen abgeleitet. Ebenso wurden die Gleichungen für die Berechnung der maximalen Temperaturänderungen erfasst, bei denen es bei einer konstanten Geschwindigkeit des Fortschreitens der Schicht durch den Adsorber zu keiner Störung der Stabilität des Betriebs kommt.

In die Redaktion eingelangt den 7. 4. 1962

## LITERATÚRA

1. Kachaňák Š., Valtýni J., Chem. zvesti 16, 505 (1962). — 2. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 575 (1961). — 3. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 590 (1961). — 4. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 777 (1961). — 5. Kachaňák Š., Valtýni J., Szauderová J., Chem. zvesti 16, 417 (1962). — 6. Kachaňák Š., Chem. zvesti 14, 8 (1960).

Do redakcie došlo 7. 4. 1962

*Adresa autorov:**Doc. inž. Štefan Kachaňák, C. Sc., inž. Ján Valtýni, Bratislava, Kollárovo nám. 2, Chemický pavilón SVŠT.*