

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

Š. KACHAŇÁK, J. VALTÝNI

Katedra anorganickej technológie Slovenskej vysokej školy technickej
v Bratislave

V priebehu kontinuitne vedeného adsorpčného procesu dochádza k teplotným zmenám vo vrstve adsorbenta, čo spôsobuje zmenu pracovnej výšky vrstvy a vynucuje si zmenu rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér. Je preto dôležité stanoviť funkčnú závislosť týchto veličín od teploty. Výpočty, pri ktorých sa bude vychádzať z teórie dynamiky adsorpcie kontinuitne pracujúcich kolón [1—4], urobia sa pre aktívne uhlie druhého štruktúrneho typu, v ktorom funkčný význam teploty pre adsorpčné rovnováhy sa prejavuje najvhodnejšie, čím zároveň sa uvedú rovnice dynamiky adsorpcie pre tento typ adsorbenta.

a) Závislosť pracovnej výšky vrstvy od teploty pri konštantnom stupni nasýtenia na dne vrstvy

Pri výpočtoch sa bude vychádzať z rovnice adsorpčnej izotermy pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia [5]:

$$a = \frac{W_0}{v} \cdot e^{-A \cdot \frac{T}{\beta_a} \cdot \log \frac{p_s}{p}}, \quad (1)$$

kde a je rovnovážne nasýtenie pri tlaku p a teplote T ; v , p_s molárny objem a tlak nasýtených pár adsorbátu pri tej istej teplote, β_a afinitný koeficient a W_0 , A konštanty charakteristické pre adsorbent.

Rovnica (1) sa upraví na tvar

$$a = \frac{W_0}{v \cdot p_s^{\frac{A}{2,3 \beta_a} \cdot T}} \cdot p^{\frac{A}{2,3 \beta_a} \cdot T} \quad (2)$$

Táto rovnica sa tvarove zhoduje s Freundlichovou rovnicou adsorpčnej izotermy, v ktorej konštanty K , n vyjadrujú výrazy:

$$K = \frac{W_0}{v \cdot p_s^n} \quad n = \frac{A}{2,3 \beta_a} \cdot T \quad (3)$$

Je preto možné do vzťahu pre pracovnú výšku vrstvy kontinuitných adsorpčných kolón pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy dosadiť za n vyššie uvedený výraz, čím sa vyjadří rovnica pracovnej výšky vrstvy pre aktívne uhlie druhého štruktúrneho typu:

$$\frac{\beta}{w} \cdot L_0 = \frac{kT}{1-kT} \cdot \ln \frac{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1}{\left(1 - q^{1/kT}\right) \cdot Q^{1/kT} - 1} \quad (4)$$

L_0 je pracovná výška vrstvy pri stupni vyčistenia adsorbátu na hodnotu Q ; β rýchlostná konštanta; w fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi v adsorbéri a q stupeň nasýtenia adsorbenta pri jeho odbere z kolóny. Konštanta k v tejto rovnici vyjadruje podiel $\frac{A}{2,3 \beta_a}$.

Rovnica (4) umožňuje na rozdiel od rovnice pracovnej výšky odvodennej pre Freundlichovu rovnicu adsorpčnej izotermy stanoviť závislosť pracovnej výšky vrstvy od teploty. Deriváciou rovnice (4) podľa teploty a úpravou výrazu na bezrozmerný tvar sa dospeje k rovnici

$$\left[\frac{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial (\ln T)} \right]_{p,q,Q} = \frac{1}{1-k} \cdot \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0 + \frac{\ln Q}{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1} - \frac{q^{1/kT} \cdot \ln q}{1 - q^{1/kT}} \cdot \frac{1 - Q^{1/kT} - 1}{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1} \right) \quad (5)$$

Veličina $\left[\frac{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial (\ln T)} \right]_{p,q,Q}$ vhodne charakterizuje vplyv teploty na pracovnú výšku vrstvy. Vyjadruje súčin, v ktorom okrem vlastnej zmeny $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ s teplotou vystupuje pôvodná pracovná teplota, na ktorú sa vzťahujú výpočty. Je teda bezrozmerným argumentom. Bude sa označovať súčinom $T \cdot F_q$. Index q vyjadruje, že pracovná výška vrstvy sa mení s teplotou pri konštantnom nasýtení na dne vrstvy, na rozdiel od iných prevádzkových podmienok, ktoré sa uvedú neskôr, kde veličina q je premennou. Veličiny p , Q budú vždy konštantné, pretože zmena pracovnej výšky vrstvy s teplotou sa vyjadruje pre daný tlak a stupeň vyčistenia plynu.

Celý proces je potom vo všeobecnosti určený piatimi bezrozmernými veličinami, ktoré sú vzájomne viazané dvoma funkčnými vzťahmi (4, 5), takže tri premenné sa môžu v príslušných hraniciach voliť nezávisle a hodnota $T \cdot F_q$ sa môže vyjadriť ako funkcia ľubovoľnej trojice nezávisle premenných. Pri praktickom použití je však možné voliť len dve, pretože výpočet sa vzťahuje na pôvodnú pracovnú teplotu v prevádzke, a teda komplex $k \cdot T$ je daný použitou sústavou adsorbent—adsorbát a pôvodnou pracovnou teplotou. Za týchto podmienok veličina $T \cdot F_q$ sa môže vyjadriť ako funkcia q , Q ; ako funkcia Q , $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ a ako funkcia q , $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$. Vychádzajúc z platnosti rovníc (4, 5), uvádzané tri funkčné závislosti sú definované vzťahmi:

$$T \cdot F_q = \frac{1}{1-kT} \cdot \left(\frac{kT}{1-kT} \ln \frac{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1}{1 - q^{1/kT}} + \frac{q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1}{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1} \cdot \ln Q - \frac{q^{1/kT} \cdot \ln q}{1 - q^{1/kT}} \cdot \frac{1 - Q^{1/kT} - 1}{1 - q^{1/kT} \cdot Q^{1/kT} - 1} \right) \quad (6)$$

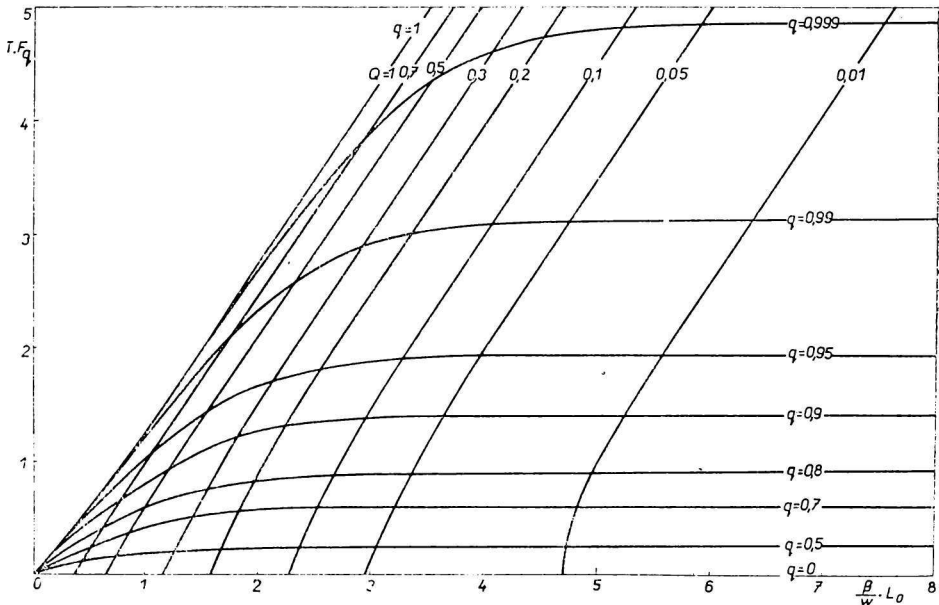
$$T \cdot F_q = \frac{1}{1-kT} \cdot \left[\frac{\beta}{w} \cdot L_0 + \frac{kT+(1-kT) \cdot E \cdot Q^{\frac{1}{kT}-1}}{1-Q^{\frac{1}{kT}-1}} \cdot \frac{E-1}{E} \cdot \ln Q - \right. \\ \left. - \frac{\left(E \cdot Q^{\frac{1}{kT}-1} - 1 \right) \cdot kT}{1-Q^{\frac{1}{kT}-1}} \cdot \frac{E-1}{E} \cdot \ln \frac{E \cdot Q^{\frac{1}{kT}-1} - 1}{E-1} \right] \quad (7)$$

$$T \cdot F_q = \frac{1}{1-kT} \cdot \left[\frac{\frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0}{1-q^{\frac{1}{kT}}} - \frac{kT}{1-kT} \cdot \frac{1 - \frac{E-1}{E} \cdot \frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}}}{1 - \frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}}} \cdot \ln \left(1 - \frac{E-1}{E} \cdot \frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}} \right) - \frac{E-1}{E} \cdot \frac{\frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}} \cdot \ln q}{1 - \frac{1}{q^{\frac{1}{kT}}}} \right] \quad (8)$$

V tomto vzťahu je:

$$E = e^{\frac{1-kT}{kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0} \quad (9)$$

Z týchto rovníc sa vypočítali limitné hodnoty $T \cdot F_q$ pre hraničné podmienky veličín $q, Q, \frac{\beta}{w} \cdot L_0$, z ktorých prvé dve sa môžu meniť v rozsahu 0—1 a tretia v rozsahu 0— ∞ . Na obr. 1 sú v súradniciach $T \cdot F_q, \frac{\beta}{w} \cdot L_0$ zakreslené dva systémy čiar, ktoré



Obr. 1. Teoretické krivky závislosti $T \cdot F_q$ od $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ pre $k \cdot T = 1/3$ a pre rôzne hodnoty stupňa vyčistenia plynu a stupňa nasýtenia na dne varstvy.

vyjadrujú funkciu $T \cdot F_q = f\left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)$ pri $q = \text{konšt.}$ a pri $Q = \text{konšt.}$ pre $k \cdot T = 1/3$.

Obr. 1 je ohraničený osou $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$, ktorá je totožná s limitnou hodnotou $\lim_{q \rightarrow 0} T \cdot F_q$ a čiarou pre hraničné podmienky $q = Q = 1$, ktorá je vyjadrená rovnicou

$$\lim_{q \rightarrow 1} T \cdot F_q = \lim_{Q \rightarrow 1} T \cdot F_q = \frac{1}{1 - kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0 - \left(\frac{kT}{1 - kT}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1 - kT}{kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0}\right) \quad (10)$$

$$\frac{\beta}{w} \cdot L_0 = \text{konšt.}, \quad \frac{\beta}{w} \cdot L_C = \text{konšt.},$$

Krivka postupne nadobúda lineárny priebeh, pretože rastom $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ exponenciálny výraz v rovnici (10) limituje k nule. Krivky pre $q = \text{konšt.}$ rastom hodnoty Q spočiatku intenzívne stúpajú a pri $Q < 0,05$ prechádzajú v priamky rovnobežné s osou $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$.

Zmena pracovnej výšky vrstvy s teplotou sa zvyšovaním požiadaviek na vyčistenie plynu postupne zväčšuje a nad uvádzanou hodnotou Q je maximálna. Čím väčšie je q , tým viac sa uplatňuje vplyv teploty na zmenu hodnoty pracovnej výšky vrstvy, pričom krivky majú obdobný tvar. Je to v zhode so skutočnosťou, že čím viac sa proces sýtenia na dne vrstvy blíži k rovnovážnemu stavu, tým citlivejšia je prevádzka na teplotné výkyvy. Z obr. 1 je zrejme, že v oblasti hodnôt q od 0,95 do 0,99 sa za konštantnosti ostatných podmienok zmení s teplotou pracovná výška vrstvy približne 1,5 krát oproti zmene, ktorá nastane v širokom rozsahu hodnôt q od 0 do 0,95.

Druhá sústava čiar na diagrame pre $Q = \text{konšt.}$ sa vypočítala z rovnice (7). Čiary pretínajú os $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ v bodoch $\frac{\beta}{w} \cdot L_0 = -\ln Q$, ktoré sú totožné s hodnotou $\lim_{q \rightarrow 0} \frac{\beta}{w} \cdot L_0$.

Pri $q > 0,95$ prechádzajú v priamky, ktoré sú definované rovnicou

$$\lim_{\frac{\beta}{w} \cdot L_0 \rightarrow \infty} T \cdot F_q = \frac{1}{1 - kT} \cdot \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0 + \frac{\ln Q}{1 - Q^{kT} - 1}\right) \quad (11)$$

$Q = \text{konšt.}$

V tejto oblasti úmerne s rastom hodnoty $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ a jej pri danom Q zodpovedajúcich hodnotách q , ktoré vyjadruje rovnica (4), vzrastá i hodnota $T \cdot F_q$. Výraz $T \cdot F_q$ má vždy kladnú hodnotu, teda rastom teploty sa hodnota $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ vždy zväčšuje.

Z obr. 1 je možné pre rôzne hodnoty q , Q , ktoré predpíšu prevádzkové požiadavky, odčítať im zodpovedajúce hodnoty $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$, $T \cdot F_q$, čo umožňuje bilancovať vplyv teploty na proces v celom aktuálnom rozsahu.

Pre štúdium zmien pracovnej výšky s teplotou je vhodné zaviesť ďalšiu veličinu, ktorá bude vyjadrovať stupeň zmeny $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ s teplotou, vzťahovaný na príslušnú hodnotu $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ pri pôvodnej teplote T . Táto veličina je vyjadrená výrazom $\frac{w \cdot F_q}{\beta \cdot L_0}$ a bude sa označovať G_q . Stonásobok tejto hodnoty určuje priamo percento zmeny $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ pri zmene teploty o jeden stupňa. Veličina G_q je opäť funkciou q , Q , $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$, $k \cdot T$ a príslušné výrazy, ktoré ju definujú, vyjadrili sa z rovníc (6, 7, 8):

$$T \cdot G_q = \frac{1}{1 - kT} + \frac{\ln Q - \frac{1}{q^{kT}} \cdot \ln q \cdot \left(1 - Q^{\frac{1}{kT} - 1}\right)}{1 - q^{kT}} \quad (12)$$

$$kT \cdot \left(1 - \frac{1}{q^{kT}} \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1}\right) \cdot \ln \frac{1 - \frac{1}{q^{kT}} \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1}}{1 - \frac{1}{q^{kT}} \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1}}$$

$$T \cdot G_q = \frac{1}{1 - kT} + \frac{kT + (1 - kT) \cdot E \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1}}{kT \cdot \left(1 - Q^{\frac{1}{kT} - 1}\right)} \cdot \frac{E - 1}{E \cdot \ln E} \cdot \ln Q -$$

$$\frac{E \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1} - 1}{1 - Q^{\frac{1}{kT} - 1}} \cdot \frac{E - 1}{E \cdot \ln E} \cdot \ln \frac{E \cdot Q^{\frac{1}{kT} - 1} - 1}{E - 1} \quad (13)$$

$$T \cdot G_q = \frac{1}{1 - kT} \cdot \left[\frac{\frac{1}{q^{kT}}}{E \cdot \left(1 - \frac{1}{q^{kT}}\right)} - \frac{1 - \frac{E - 1}{E} \cdot q^{\frac{1}{kT}}}{\left(1 - q^{\frac{1}{kT}}\right) \cdot \ln E} \cdot \ln \left(1 - \frac{E - 1}{E} \cdot q^{\frac{1}{kT}}\right) \right] -$$

$$\frac{\frac{1}{q^{kT}} \cdot \ln q}{kT \cdot \left(1 - \frac{1}{q^{kT}}\right)} \cdot \frac{E - 1}{E \cdot \ln E} \quad (14)$$

Z týchto vzťahov sa stanovili hodnoty bezrozmerného komplexu $T \cdot G_q$ pre hraničné hodnoty q , Q , ktoré sa menia v rozsahu 0—1. Pri $q = 0$ v celom rozsahu hodnôt Q je $T \cdot G_q = 0$. Pri $q = 1$ a $0 < Q < 1$ je $T \cdot G_q = \frac{1}{1 - kT}$. Pri $q = 1$, $Q = 0$ je $T \cdot G_q = 0$ a pri $q = Q = 1$ je $T \cdot G_q = 1$ až $\frac{1}{1 - kT}$.

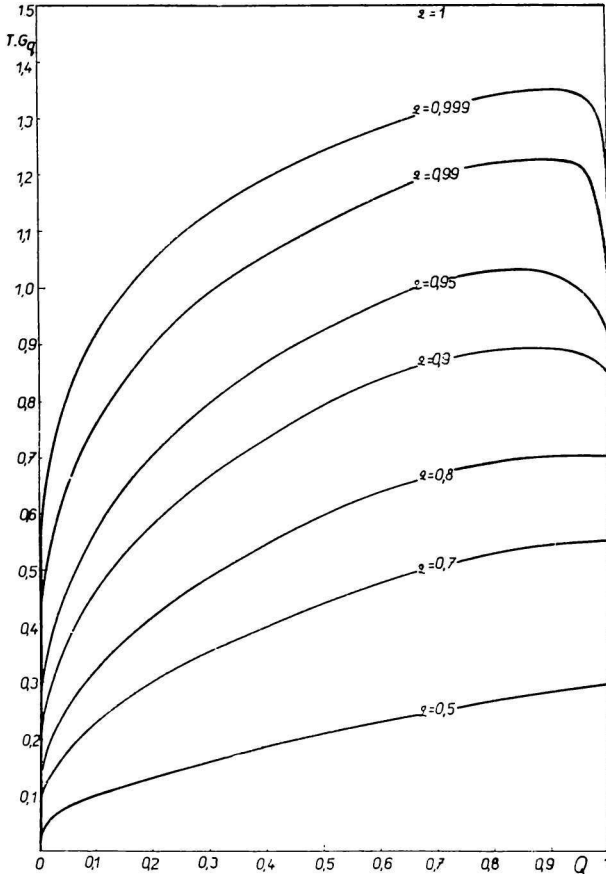
Na obr. 2 sú zakreslené krivky závislosti $T \cdot G_q$ od Q v celom jeho rozsahu pre rôzne hodnoty q a pre $kT = 1/3$. Krivky sú charakteristické maximom. Maximum nastáva v bode, kde $\frac{\partial (T \cdot G_q)}{\partial Q} = 0$. Tento je totožný s bodom, kde $T \cdot G_q = \frac{\partial (T \cdot F_q)}{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0\right)}$. Analy-

tické riešenie uvedených derivácií dáva zložité transcendentné výrazy.

Rastom hodnoty q pri konštantnom Q sa $T \cdot G_q$ zväčšuje, až v limitnom prípade $q = 1$ nadobúda pre celý rozsah stupňa koncentrácie $0 < Q < 1$ konštantnú maximálnu hodnotu. Táto je pre uvádzaný prípad určená čiarou rovnobežnou s osou Q vo výške $T \cdot G_q = 1,5$.

Vyššie uvedené rovnice umožňujú výpočet maximálnej zmeny veličiny $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ pri rôznych teplotách. Nech napríklad $k \cdot T = 1/3$. Pretože $T \cdot G_{q-\max}$ je vyjadrené výrazom $\frac{1}{1 - kT}$, môže sa pri 20 °C $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ zväčšiť maximálne o 0,512 %/°C; pri 30 °C o 0,503 %/°C; pri 40 °C o 0,496 %/°C. Teda hodnota $G_{q-\max}$ sa môže pri prevádzkových teplotách pokladať za konštantnú.

Uvádzaným spôsobom sa stanoví funkcionálna závislosť $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ od teploty. Vychádzajúc z rovníc (5—14), na výpočet zmien pracovnej výšky vrstvy s teplotou sa odvodili rovnice pre dva prípady, ktoré je možné v prevádzke uplatniť. V prvom sa pri konštantnom q neurobí zásah do prevádzky, takže zmenou teploty sa mení i lineárna rýchlosť plynnej zmesi. V druhom sa pri konštantnom q udržuje i lineárna rýchlosť konštantná. Výsledné rovnice sú:



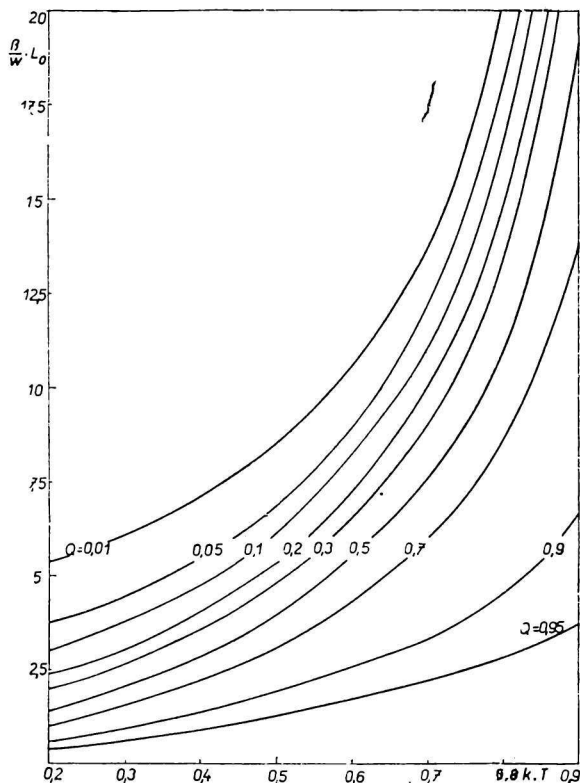
Obr. 2. Teoretické krivky závislosti $T \cdot G_q$ od Q pre $k \cdot T = 1/3$ a pre rôzne hodnoty stupňa nasýtenia na dne vrstvy.

$$\left(\frac{\partial \ln L_0}{\partial T} \right)_{p,q,Q} = G_q - \left(\frac{\partial \ln \frac{\beta}{w}}{\partial T} \right)_p \quad (15)$$

$$\left(\frac{\partial \ln L_0}{\partial T} \right)_{p,q,Q,w} = G_q - \left(\frac{\partial \ln \beta}{\partial T} \right)_p \quad (16)$$

Pretože výrazy na výpočet zmien hodnôt rýchlostnej konštanty s teplotou a lineárnou rýchlosťou zmesi, ktoré uvádza E. N. Serpionova [5], sú len približné, je najvhodnejšie stanoviť diferenciálne výrazy na pravej strane rovníc (15, 16) z experimentálne stanovených hodnôt.

Pre priame bilancovanie hodnôt $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ pre rôzne teploty je možné tiež použiť rovnicu (4). Na obr. 3 sú zakreslené teoretické krivky závislosti $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ od $k \cdot T$ v celom dôležitom rozsahu od 0,2 do 0,9 a pre rôzne hodnoty stupňa vyčistenia plynu Q .



Obr. 3. Teoretické krivky závislosti $\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ od teploty pre $q = 0,99$ a pre rôzne hodnoty stupňa vyčistenia plynu.

b) Závislosť rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér od teploty

Pri zmene teploty dochádza zároveň k zmene adsorpčnej kapacity adsorbenta, čo si vynucuje zmenu rýchlosti postupu vrstvy cez kolónu. Pri vzraste teploty nad hodnotu určenú prevádzkovými podmienkami, pretože sa znižuje rovnovážne nasýtenie adsorbenta, pracovná vrstva by stúpala stále vyššie a postupne by adsorbát cez vrstvu stále viac prenikal. Pri nižšej teplote by sa zasa nevyužila adsorpčná kapacita adsorbenta.

Nech pri teplote T_1 a nasýtení ná dne vrstvy na hodnotu q postupuje adsorbent cez kolónu rýchlosťou r_1 . Vychádzajúc z materiálovej bilancie procesu [4], táto rýchlosť je vyjadrená rovnicou

$$r_1 = \frac{C_{0-1} \cdot w_1}{q \cdot a_1} \quad (17)$$

C_{0-1} je pôvodná koncentrácia adsorbátu v nosnom plyne, w_1 fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi v adsorbéri a a_1 rovnovážne nasýtenie adsorbenta pri teplote T_1 . Pri zmene teploty na teplotu T_2 tlak pár adsorbátu v nosnom plyne ostane konštantný a koncentrácia sa zmení na hodnotu C_{0-2} pri rovnovážnom nasýtení a_2 . Ak sa neurobí zásah do prietoku, zmení sa i lineárna rýchlosť na w_2 , pričom súčin $C_{0-2} \cdot w_2$ sa musí v prevádzkových podmienkach približne rovnať súčinu $C_{0-1} \cdot w_1$. Za týchto podmienok, pretože prevádzka vyžaduje pri rôznych teplotách konštantný stupeň nasýtenia na dne vrstvy, pre rýchlosť odberu pri teplote T_2 musí platiť:

$$r_2 = \frac{a_1}{a_2} \cdot r_1 \quad (18)$$

Pretože tlak pár adsorbátu v nosnom plyne p zostáva konštantný, vychádzajúc z rovnice (1), hodnotu a_2 vyjadruje rovnica

$$a_2 = a_1 \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{p_s^{kT_1}}{p_s^{kT_2}} \cdot p^{k\Delta T} \quad (19)$$

Pretože koeficient tepelnej rozťažnosti α je vyjadrený výrazom $\frac{d(\ln v)}{dT}$ a závislosť tlaku nasýtených pár od teploty približne rovnicou $\ln p_s = a' - \frac{b}{T}$, vychádzajúc z rovnice (19), musí v úzkom teplotnom rozsahu s dostatočnou presnosťou platiť:

$$\ln \frac{a_2}{a_1} = [k \cdot (\ln p - a') - \alpha] \cdot \Delta T \quad (20)$$

Pretože $e^{a'}$ má fyzikálny význam tlaku, je možné výraz $\frac{p}{p^*}$, v ktorom $p^* = e^{a'}$, nazvať relatívnym tlakom p_r^* vzťahovaným na tlak p^* . p^* je samozrejme len extrapolovaná hodnota podobne ako a' . Po dosadení do rovnice (20) sa dospeje k výslednému vzťahu:

$$\ln \frac{a_2}{a_1} = (k \cdot \ln p_r^* - \alpha) \cdot \Delta T \quad (21)$$

K tej istej rovnici sa dospeje vyjadrením výrazu $\left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_p$ z rovnice (1):

$$\left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_p = (k \cdot \ln p_r^* - \alpha) \cdot a \quad (22)$$

Rovnica sa integruje v hraniciach a_1, T_1, a_2, T_2 .

Po dosadení výrazu z rovnice (21) do rovnice (18) vyjadruje zmenu rýchlosti odberu s teplotou vzťah

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = (\alpha - k \cdot \ln p_r^*) \cdot \Delta T \quad (23)$$

Pretože $\alpha \cdot \Delta T \ll 1$, môže sa uvedený vzťah napísať v tvare

$$r_2 = r_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot p_r^{*k\Delta T} \quad (24)$$

Rovnice (18—24) sa použijú na výpočet rýchlosti postupu vrstvy cez adsorbér pre prípad, keď pri zmene teploty sa do sústavy dodáva to isté množstvo adsorbátu, teda súčin $C_0 \cdot w$ v rovnici (17) ostane konštantný.

Ak pri zmene teploty sa udržuje pôvodná hodnota lineárnej rýchlosti, $C_0 \cdot w$ nie je konštantné, lebo sa mení hodnota C_0 . Pretože však tlak pár adsorbátu pri rôznych teplotách je konštantný, vyjadria sa ním hodnoty koncentrácií v rovniciach pre rýchlosť odberu pri teplotách T_1 a T_2 . Porovnaním výrazov pre q z týchto rovníc, ktoré sú si rovné, s použitím rovnice (1) sa pre tento prípad rýchlosť postupu adsorbenta r'_2 pri teplote T_2 vyjadří rovnicou

$$r'_2 = r_1 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad (25)$$

Po urobení vyššie uvedených úprav sa táto rovnica prevedie na bezrozmerný tvar:

$$\ln \frac{r'_2}{r_1} = (\alpha - k \cdot \ln p_r^*) \cdot \Delta T + \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (26)$$

Zmena lineárnej rýchlosti spôsobená zmenou teploty v prevádzkových podmienkach teda podstatne nevlýva na rýchlosť postupu vrstvy, pretože $r'_2 = r_2 \cdot \frac{T_1}{T_2}$. Zásadne však vplýva na rýchlosť postupu zmena adsorpčnej kapacity adsorbenta spôsobená zmenou teploty. Veľkosť týchto zmien sa bude komentovať na adsorpcii sírouhlika na aktívnom uhlí Supersorbon [6]. Pri lineárnej rýchlosti plynnej zmesi $w = 40$ cm/s, koncentrácií sírouhlika $C_0 = 10$ g/m³ a stupni nasýtenia $q = 0,99$ postupuje adsorbent cez kolónu pri teplote 22 °C rýchlosťou $r_1 = 18,8$ cm/hod. Pri zvýšení teploty na 30 °C je $r_2 = 22,8$ cm/hod. a $r'_2 = 22,2$ cm/hod. Teda v tomto teplotnom rozsahu sa zvýšením teploty o 1 °C rýchlosť postupu vrstvy priemerne zvýši pri konštantnom $C_0 \cdot w$ o 2,66 % a pri konštantnom w o 2,26 % pôvodnej hodnoty rýchlosti pri 22 °C.

Symbols

a — rovnovážne nasýtenie adsorbenta

a', b — konštanty v rovnici $\ln p_s = a' - \frac{b}{T}$

A — Dubininova konštantka pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia

E — $e^{\frac{1-kT}{kT} \cdot \frac{\beta}{w} \cdot L_0}$

F_q — $\left(\frac{\partial \left(\frac{\beta}{w} \cdot L_0 \right)}{\partial T} \right)_{p,q,Q}$

G_q — $\frac{w \cdot F_q}{\beta \cdot L_0}$

k — $\frac{A}{2,3 \cdot \beta_a}$

K — konštantka z Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy

L_0 — pracovná výška vrstvy kontinuálnych adsorpčných kolón

n — exponent vo Freundlichovej rovnici adsorpčnej izotermy

p — pôvodný tlak adsorbátu v plynnej zmesi

p_s — pôvodný tlak nasýtených pár adsorbátu v plynnej zmesi pri pracovnej teplote

p^* — $e^{a'}$

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

$T \cdot F_q$ — bezrozmerný argument pre vyjadrenie zmien hodnôt pracovnej výšky vrstvy s teplotou

$T \cdot G_q$ — bezrozmerný argument pre vyjadrenie stupňa zmeny pracovnej výšky vrstvy s teplotou

v — molárny objem adsorbátu

w — fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi v kolóne

W_0 — Dubininova konštanta

α — koeficient tepelnej rozťažnosti adsorbátu

β — rýchlostná konštanta

β_a — afinitný koeficient

$\frac{\beta}{w} \cdot L_0$ — bezrozmerný argument pre vyjadrenie teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy

Súhrn

Vyjadрили sa rovnice zmien teoretickej krivky pracovnej výšky vrstvy kontinuitne pracujúcich adsorpčných kolón s teplotou pre aktívne uhlie druhého štruktúrneho typu a pre prípad, keď stupeň nasýtenia na dne vrstvy je pri teplotných zmenách konštantný. Definovali sa hraničné podmienky sústavy, pričom sa zostrojili teoretické krivky závislosti bezrozmerných veličín, ktoré definujú proces. Tým sa stanovila funkčná závislosť pracovnej výšky vrstvy kontinuitných adsorpčných kolón od teploty. Odvodili sa rovnice na výpočet rýchlosti postupu adsorbenta cez kolónu pri teplotných zmenách a rovnica pracovnej výšky vrstvy kontinuitne pracujúcich adsorpčných kolón pre druhý štruktúrny typ aktívneho uhlia.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИНАМИКУ АДсорбЦИИ В НЕПРЕРЫВНО РАБОТАЮЩИХ КОЛОННАХ (I)

Ш. КАХАНЯК, Я. ВАЛТИНИ

Кафедра неорганической технологии Словацкой высшей технической школы
в Братиславе

Были отведены уравнения изменений теоретической кривой рабочей высоты слоя непрерывно работающих колонн от температуры для активного угля второго структурного типа и случай, когда степень насыщения на дне слоя при температурных изменениях не изменяется. Были дефинованы предельные условия системы, причем построились теоретические кривые зависимости безразмерных величин, дефинирующих этот

процесс. Тем определилась функциональная зависимость высоты слоя непрерывных адсорбционных колонн от температуры. Были отведены уравнения для вычисления скорости перемещения адсорбента через колонну при температурных изменениях и уравнения рабочей высоты слоя, непрерывно работающих адсорбционных колонн для второго структурного типа активного угля.

Поступило в редакцию 9. 3. 1962 г.

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

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 der Sättigungsgrad am Boden der Kolonne bei den Temperaturänderungen konstant ist. Es wurden die Grenzbedingungen des Systems definiert, wobei die theoretischen Kurven der Abhängigkeit der dimensionslosen Grössen, welche den Prozess definieren, konstruiert wurden. Damit wurde das Funktionsverhältnis der Arbeitshöhe der Schicht kontinuierlich arbeitender Adsorptionskolonnen zur Temperatur bestimmt. Ferner wurden die Gleichungen für die Berechnung der Geschwindigkeit des Fortschreitens des Adsorbenten durch die Kolonne bei Temperaturänderungen und die Gleichung der Arbeitshöhe der Schicht kontinuierlich arbeitender Adsorptionskolonnen für den zweiten Strukturtyp von Aktivkohle abgeleitet.

In die Redaktion eingelangt den 9. 3. 1962

LITERATÚRA

1. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 575 (1961). — 2. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 590 (1961). — 3. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 777 (1961). — 4. Kachaňák Š., Valtýni J., Szauderová J., Chem. zvesti 16, 20 (1962). — 5. Serpionova E. N., *Promyšlennaja adsorbicija gazov i parov*, Moskva 1956. — 6. Kachaňák Š., Chem. zvesti 13, 791 (1959).

Do redakcie došlo 9. 3. 1962

Adresa autorov:

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