

**ROZBOR DYNAMIKY ADSORPCIE
V STATICKY PRACUJÚCICH KOLÓNACH
ZO STANOVISKA ROVNÍC PRACOVNEJ VÝŠKY VRSTVY**

ŠTEFAN KACHAŇÁK

Katedra anorganickej technológie Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave

V predchádzajúcich prácach [1, 2] sa odvodili rovnice pracovnej výšky vrstvy a urobil sa rozbor procesu prebiehajúceho v kontinuítne pracujúcej adsorpčnej vrstve zo stanoviska týchto rovníc. V prítomnej práci sa rozoberie z tohto zretela problém staticky pracujúcej adsorpčnej vrstvy. Odvodia sa rovnice, ktoré v bezrozmernom tvare budú vyjadrovať materiálovú bilanciu periodického procesu.

Teoretická časť

Pri výpočtoch sa opäť bude vychádzať z rovníc pracovnej výšky vrstvy pre dva najdôležitejšie typy adsorpčných izoteriem, a to Freundlichovu a Langmuirovu [1]. Rovnica pracovnej výšky vrstvy pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy je:

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

Rovnica pracovnej výšky vrstvy pre oblasť platnosti Langmuirevej rovnice adsorpčnej izotermy je:

$$\frac{\beta}{w} L_0 = \frac{1-m}{1-q(1-m)} \ln \frac{(1-q+m \cdot q - m \cdot q \cdot Q)^q}{(1-q)^q \frac{1}{Q^{1-m}}} \quad (2)$$

Rovnice vyjadrujú pracovnú výšku vrstvy L_0 pri rôznych hodnotách stupňa vyčistenia plynu Q pre prevádzkou predpísaný stupeň nasýtenia na dne pracovnej vrstvy q . V prípade diskontinuitne vedenej prevádzky, kde pre dosiahnutie požadovaného stupňa využitia adsorbenta musí výška nálož mnohonásobne prevyšovať pracovnú výšku vrstvy, veličina q limituje k jednej. Ako je zrejmé z rovníc (1, 2), pri $q = 1$ je $L_0 = \infty$. Je to v zhode s rovnicami kinetiky adsorpcie, podľa ktorých nasýtenosť $q = 1$ sa dosiahne len pri

$t = \infty$, pri ktorom zasa $L_0 = \infty$. Z tohto zretela môžeme staticky pracujúcu vrstvu pokladať za špecifický limitný prípad kontinuítne pracujúcej vrstvy, v ktorej stupeň nasýtenia na dne pracovnej vrstvy sa rovná jednej. Tým rovnice pracovných výšok staticky pracujúcej vrstvy tratia svoj exaktný numerický zmysel, a preto ich doteraz známe empirické rovnice [3, 4, 5] vôbec nevyhovujú alebo sú veľmi nepresné. Skutočnú hodnotu pracovnej výšky môžeme teda stanoviť len pre kontinuítne vedenú prevádzku, kde stupeň nasýtenia na dne kolóny predpisujú prevádzkové požiadavky a v celom jej priebehu je konštantný.

I keď nemôžeme pre staticky pracujúcu vrstvu vyhodnotiť výšku pracovnej vrstvy, rovnice (1, 2) dávajú podklad pre vyjadrenie materiálovej bilancie procesu. Zatiaľ čo L_0 má hodnotu ∞ , nasýtenosť pracovnej výšky vrstvy limituje i pri $q = 1$ ku konkrétnej hodnote. Preto aj rovnice vyjadrujúce nasýtenosť pracovnej vrstvy v jednotlivých jej výškach, ktoré sme odvodili v predchádzajúcej práci [2], sú riešiteľné i pre $q = 1$.

Nech do vrstvy adsorbenta o výške L vchádza zmes pár adsorbátu s nosným plynom o koncentrácii C_0 pri lineárnej rýchlosti w . V priebehu sýtenia sa vo vrstve vytvorí sorpčné čelo, ktoré je ohraničené vrstvou plynu, prakticky neobsahujúcou adsorbát. Tak ako sa bude sýtiť nálož, i sorpčné čelo bude postupovať, až v čase t_D prenikne k výške L . V tomto čase, ktorý sa nazýva časom prieniku, objavia sa za vrstvou prvé stopy adsorbátu a prevádzka sa preruší. Pri nekonečnej rýchlosti adsorpcie množstvo, ktoré vrstva v tomto čase adsorbuje, vyjadruje súčin $a_v \cdot S \cdot L$, kde a_v je rovnovážne nasýtenie objemovej jednotky adsorbenta a S je prierez vrstvy. Pretože rýchlosť procesu je vymedzená, skutočne adsorbované množstvo v čase prieniku je menšie a vyjadríme ho súčinom $a_v \cdot S \cdot (L - h)$. Veličina h sa nazýva Mecklenburgovou stratovou výškou [5, 6, 7] a predstavuje výšku vrstvy, ktorú je potrebné v čase preniknutia prvých stôp adsorbátu cez vrstvu ešte nasýtiť na adsorpčnú rovnováhu, aby celá vrstva bola nasýtená na túto hodnotu. Pretože množstvo, ktoré je potrebné do systému dodať, vyjadruje výraz $w \cdot S \cdot C_0 \cdot t_D$, pre t_D vychádza:

$$t_D = \frac{a_v \cdot S \cdot L}{C_0 \cdot w} \quad (3)$$

V rovnici dynamiky adsorpcie (3) vystupuje empirická veličina stratovej výšky h [8], ktorú treba pre každý prípad stanoviť osobitným pokusom. Úlohou bude vylúčiť túto neznámu veličinu, nahradiť ju stupňom vyčistenia plynu Q a stanoviť rovnice, ktoré vyjadria čas potrebný na nasýtenie vrstvy pri rôznych hodnotách stupňa vyčistenia plynu v celom jeho rozsahu $0 < Q < 1$. Tento čas budeme opäť nazývať časom prieniku. Bude však vyjadrovať čas potrebný na nasýtenie vrstvy pre prevádzkou predpísané Q .

Čas prieniku za vrstvou pri $Q = 1$ je vyjadrený veličinou $\frac{a_v}{C_0 \cdot w} \cdot L$. V tomto prípade celá pracovná výška vrstvy prenikla už cez nálož a celá vrstva sa nasýtala na rovnovážnu hodnotu. V prevádzke nie je možné toto nasýtenie dosiahnuť, pretože dochádza k stratám na adsorbáte. Čím menšia bude hodnota Q v rozsahu $0 < Q < 1$, tým väčší bude stupeň využitia adsorbátu a tým menší stupeň využitia vrstvy [2]. Nech prevádzka vyžaduje v čase t_D plyn vyčistiť na ľubovoľnú hodnotu Q v uvádzanom rozsahu. Množstvo M , ktoré v čase t_D vrstva adsorbuje, vyjadruje výraz

$$M = a_v \cdot S \cdot (L - h'_v), \quad (4)$$

kde h'_v je stratová výška vrstvy staticky pracujúcej vrstvy. Táto veličina predstavuje výšku vrstvy, ktorá sa nasýti na rovnovážnu hodnotu množstvom, ktoré je potrebné do systému pri prevádzkou predpísanom vyčistení plynu na hodnotu Q ešte dodať, aby celá vrstva bola nasýtená na túto hodnotu. Pretože sa definuje pre $q = 1$, označuje sa na rozdiel od h_v kontinuítnej vrstvy [2], kde q sa mení v rozsahu $0 < q < 1$, výrazom h'_v . Ako sme už dokázali [2], platí:

$$h'_v = (1 - Q) \cdot L_0 - \int_Q^1 L_0 dQ \quad (5)$$

Pri vyčistení plynu na hodnotu Q však už v čase t_D určité množstvo adsorbátu cez vrstvu preniklo. Toto množstvo sa opäť nazve stratovou výškou adsorbátu h'_a . Predstavuje výšku vrstvy, ktorá sa na rovnovážnu hodnotu nasýti množstvom, ktoré pri predpísanom vyčistení plynu na hodnotu Q cez vrstvu v čase t_D už preniklo. Ako sa už dokázalo [2], je vyjadrená rovnicou

$$h'_a = \int_0^Q L_0 dQ - Q \cdot L_0 \quad (6)$$

Veličina h'_a sa opäť vzťahuje na pracovnú výšku vrstvy, v ktorej $q = 1$. Pretože množstvo adsorbátu dodané do systému za čas t_D je vyjadrené súčinom $w \cdot S \cdot C_0 \cdot t_D$, pre čas prieniku za vrstvou o výške L pri ľubovoľnom vyčistení plynu na hodnotu Q vychádza:

$$t_D = \frac{a_v}{C_0 \cdot w} \cdot (L - h'_v + h'_a) \quad (7)$$

Veličina h'_v sa vypočítala z rovníc pracovnej výšky vrstvy kontinuítne pracujúcich adsorpčných kolón [2]. Do týchto rovníc sa za q dosadila hodnota jedna a vhodným matematickým postupom sa vylúčil v týchto rovniaciach v menovateľi vystupujúci člen $1 - q$. Pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy sú rovnice stratovej výšky vrstvy staticky pracujúcich adsorpčných kolón opäť vyjadrené osobitnou rovnicou pre každú hodnotu konštanty n . Rovnice sú:

$$n = \frac{1}{4} \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_v = \ln \frac{(Q^2 + Q + 1)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{3} \cdot Q} - \frac{\sqrt{3}}{3} \left(\operatorname{arctg} \frac{2+Q}{\sqrt{3} \cdot Q} - \operatorname{arctg} \sqrt{3} \right) \quad (8)$$

$$n = \frac{1}{3}; \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_v = \ln \frac{1+Q}{2 \cdot Q} \quad (9)$$

$$n = \frac{1}{2}; \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_v = -\ln Q \quad (10)$$

$$n = \frac{2}{3} \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_v = 2 \cdot (1 - Q^{\frac{1}{2}}) - \ln Q \quad (11)$$

$$n = \frac{3}{4} \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_v = 4,5 - \ln Q - 3 \cdot Q^{\frac{1}{3}} - \frac{3}{2} \cdot Q^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

Pre rozsah hodnôt konštanty n od 0,5 do 1 po úprave príslušnej rovnice pre kontinuitný proces vychádza:

$$\frac{\beta}{w} \cdot h'_v = -\ln Q - \frac{n}{1-n} \sum_{x=1}^{\frac{2n-1}{1-n}} Q \frac{(1-n) \cdot x}{x} - 1 \quad (13)$$

V oblasti platnosti Langmuirevej rovnice adsorpčnej izotermy je stratová výška vrstvy staticky pracujúcich adsorpčných kolón opäť vyjadrená jednou rovnicou pre celý rozsah hodnôt konštanty m :

$$\frac{\beta}{w} \cdot h'_v = Q - \frac{1}{m} \ln Q - 1 \quad (14)$$

Rovnice stratových výšok adsorbátu staticky pracujúcich adsorpčných kolón sa opäť vypočítali vyššie uvádzaným spôsobom z odpovedajúcich rovníc kontinuitného systému [2]. Pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy vychádza:

$$n = \frac{1}{4} \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_a = \frac{1}{3} \ln \frac{(Q^2 + Q + 1)^{\frac{1}{2}}}{1-Q} - \frac{\sqrt{3}}{3} \operatorname{arctg} \frac{2+Q}{\sqrt{3} \cdot Q} + 0,907 \quad (15)$$

$$n = \frac{1}{3}; \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_a = \frac{1}{2} \ln \frac{1+Q}{1-Q} \quad (16)$$

$$n = \frac{1}{2}; \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_a = -\ln(1-Q) \quad (17)$$

$$n = \frac{2}{3}; \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_a = -2 \ln(1-Q^{\frac{1}{2}}) - 2 \cdot Q^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$n = \frac{3}{4} \quad \frac{\beta}{w} \cdot h'_a = -3 \ln(1 - Q^{\frac{1}{3}}) - 3 \cdot Q^{\frac{1}{3}} - \frac{3}{2} \cdot Q^{\frac{2}{3}} \quad (19)$$

Stratová výška adsorbátu staticky pracujúcej vrstvy je v oblasti platnosti Langmuirevej rovnice adsorpčnej izotermy vyjadrená rovnicou

$$\frac{\beta}{w} \cdot h'_a = Q - \frac{1-m}{m} \ln(1-Q) \quad (20)$$

Po dosadení týchto výrazov do rovnice (7) pre príslušné pracovné podmienky procesu je čas prieniku jednoznačne určený ako funkcia stupňa vyčistenia plynu, ktorú predpisujú prevádzkové požiadavky.

Pri všeobecnom vyjadrení rovníc dynamiky adsorpcie možno vychádzať aj z rovníc (5, 6). Po ich dosadení do rovnice (7) a po úprave vychádza:

$$t_D = \frac{a_v}{C_0 \cdot w} (L - L_0 + \int_0^1 L_0 dQ) \quad (21)$$

Pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy sa za L_0 dosadí výraz z rovnice (1), upravený pre $q = 1$. Podiel a_v/C_0 vyjadruje Henryho koeficient A . Po ďalšej úprave vychádza:

$$\frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - \frac{n}{1-n} \cdot \left(\ln \frac{1 - Q^{\frac{1-n}{n}}}{Q^{\frac{1-n}{n}}} - \int_0^1 \ln \frac{1 - Q^{\frac{1-n}{n}}}{Q^{\frac{1-n}{n}}} dQ \right) \quad (22)$$

Riešením tejto rovnice pre rôzne hodnoty konštanty n sa dospeje k výsledným rovniciam dynamiky adsorpcie pre oblasť platnosti Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy:

$$n = \frac{1}{4}; \quad \frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - \frac{1}{3} \ln \frac{1 - Q^3}{Q^3} + 0,852 \quad (23)$$

$$n = \frac{1}{3}; \quad \frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - \frac{1}{2} \ln \frac{1 - Q^2}{Q^2} + \ln 2 \quad (24)$$

$$n = \frac{1}{2}; \quad \frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - \ln \frac{1 - Q}{Q} \quad (25)$$

$$n = \frac{2}{3}; \quad \frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - 2 \ln \frac{1 - Q^{\frac{1}{2}}}{Q^{\frac{1}{2}}} - 2 \quad (26)$$

$$n = \frac{3}{4}; \quad \frac{\beta}{A} \cdot t_D = \frac{\beta}{w} \cdot L - 3 \ln \frac{1 - Q^{\frac{1}{3}}}{Q^{\frac{1}{3}}} - 4,5 \quad (27)$$

Pre oblasť platnosti Langmuirevej rovnice adsorpčnej izotermy sa do rovnice

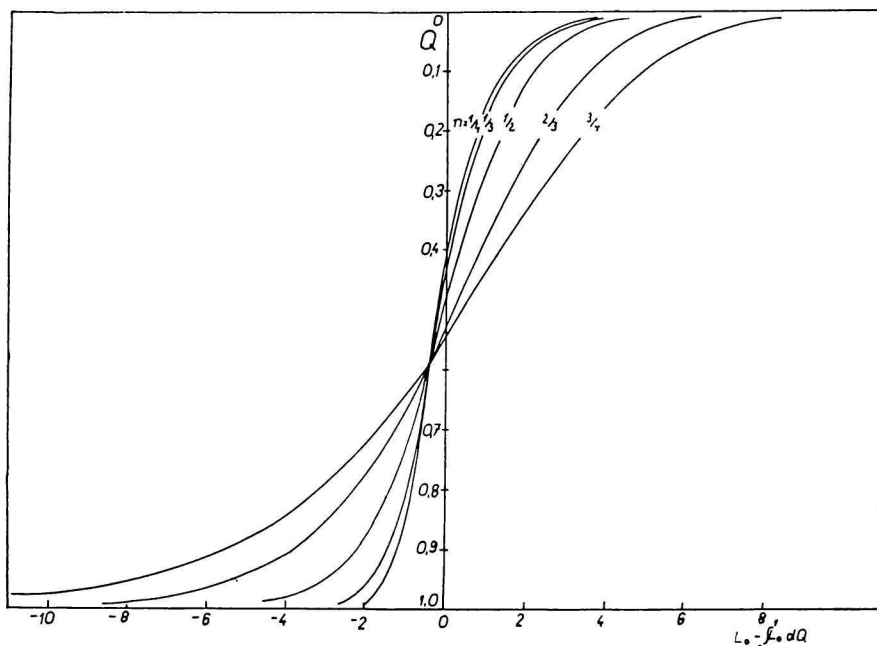
(21) za L_0 dosadí výraz z rovnice (2), upravený pre $q = 1$. Po vylúčení člena $1 - q$ a po ďalšej úprave vychádza:

$$\frac{\beta}{A} t_D = \frac{\beta}{w} L - \frac{1-m}{m} \left(\ln \frac{m \cdot (1-Q)}{Q \frac{1}{1-m}} - \int_0^1 \ln \frac{m \cdot (1-Q)}{Q \frac{1}{1-m}} dQ \right) \quad (28)$$

Riešením tejto rovnice sa dospeje k výslednej rovnici dynamiky adsorpcie pre oblasť platnosti Langmuirovej rovnice adsorpčnej izotermy:

$$\frac{\beta}{A} t_D = \frac{\beta}{w} L - \frac{1}{m} \ln \frac{1-Q}{Q} + \ln(1-Q) + 1 \quad (29)$$

Ako je zrejmé z rovnice (21), pri výpočte času prieniku je potrebné od výšky L odpočítať časť pracovnej výšky vrstvy, ktorú vyjadruje výraz $L_0 - \int_0^1 L_0 dQ$. Hodnota tejto veličiny závisí od charakteru adsorpčnej izotermy, jej zakrivenia, ako aj požadovaného stupňa vyčistenia plynu. Na obr. 1 sú zakreslené hodnoty tejto veličiny vypočítané pre rôzne hodnoty konštanty n Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy v celom priemyselne dôležitom rozsahu hodnôt uvedenej konštanty [2]. Na obr. 2 sú znázornené krivky závislosti veličiny $L_0 - \int_0^1 L_0 dQ$ od Q pre rôzne hodnoty konštanty m v oblasti platnosti Langmuirovej rovnice adsorpčnej izotermy. I keď sa rovnice (22–29) navzájom značne líšia, teoretické krivky majú obdobný priebeh a majú pre adsorpciu charakteristické S zakrivenie. Rastom hodnoty konštanty m , resp. klesaním hodnoty konštanty n sa ich strmnosť zvyšuje. Je to spôsobené tým, že obdobnou zmenou týchto konštant sa pri tom istom rovnovážnom nasýtení zvyšuje zakrivenie adsorpčnej izotermy. Rastom hodnoty Q pri tom istom zakrivení adsorpčnej izotermy sa veličina $L_0 - \int_0^1 L_0 dQ$ znižuje, pretože čím menšie požiadavky sa kladú na vyčistenie plynu, tým viac sa nasýti adsorpčná vrstva. Nad príslušnú hodnotu Q , ktorá závisí od zakrivenia adsorpčnej izotermy a ktorá je na obrázkoch určená priesečníkom príslušnej teoretickej krivky s osou Q , nadobúda veličina $L_0 - \int_0^1 L_0 dQ$ zápornú hodnotu. Vtedy množstvo adsorbátu, ktoré v tomto štádiu sytienia cez vrstvu preniklo, je väčšie než množstvo, ktoré je vrstva schopná ešte adsorbovať pre svoje nasýtenie na rovnovážnu hodnotu. Ak $L_0 - \int_0^1 L_0 dQ = 0$, množstvo, ktoré cez vrstvu preniklo, rovná sa množstvu, ktoré vrstva potrebuje ešte adsorbovať pre svoje nasýtenie na rovnovážnu hodnotu. Krivky na obr. 1 a 2 sa rozchádzajú z jedného bodu. V tomto štádiu sytienia proces nezávisí od zakrivenia adsorpčnej izotermy.

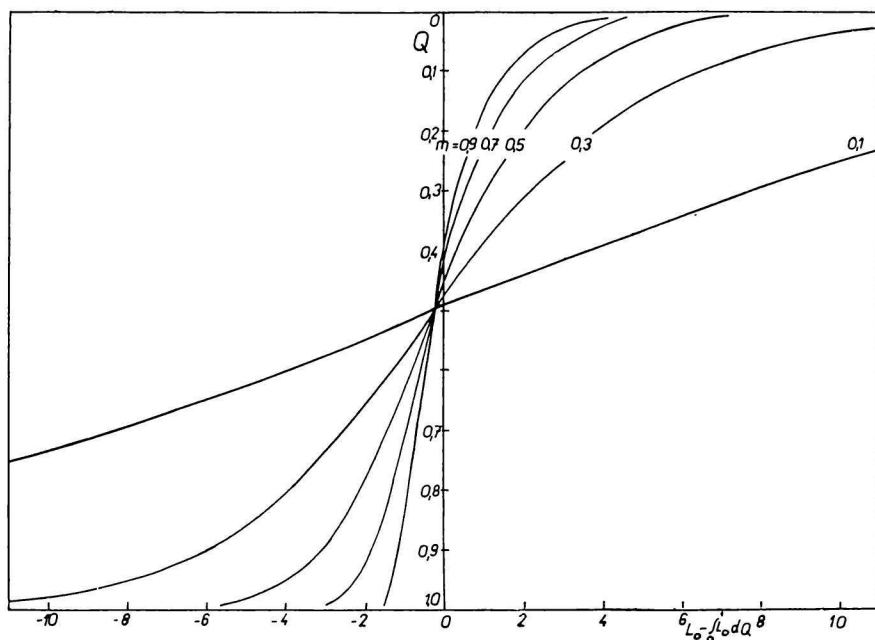


Obr. 1. Teoretické krivky závislosti nevyužitej výšky staticky pracujúcej vrstvy od stupňa vyčistenia plynu pre rôzne hodnoty konštanty n Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy.

Pomocou rovníc (23—29) sa zostrojí nomogram na výpočet času prieniku za vrstvou pre rôzne hodnoty Q v rôznych výškach vrstvy. Nomogram sa zostrojí pre príslušný druh a zakrivenie adsorpčnej izotermy, teda pre použitý adsorbent a adsorbát. Do súradnicového systému $\frac{\beta}{A} \cdot t_D$ $\frac{\beta}{w} L$ sa zakreslia priamky pre rôzne hodnoty Q . Pretože veličiny A , w , β sú dané prevádzkovými podmienkami, z priamky pre požadovaný stupeň vyčistenia plynu Q a pre príslušné $\frac{\beta}{w} \cdot L$ sa odčíta hodnota $\frac{\beta}{A} t_D$, z ktorej sa vyhodnotí t_D . Na obr. 3 sa uvádza nomogram pre $n = \frac{1}{3}$ Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy. Pri týchto podmienkach sa robili aj pokusy.

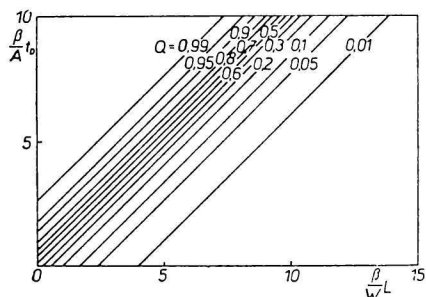
Experimentálna časť

Zisťovala sa adsorpcia sírouhľíka na aktívnom uhlí Supersorbon hrušovskej výroby. Fyzikálne vlastnosti použitého aktívneho uhlia, ako aj rozbor procesu zo stanoviska adsorpčných rovnováh a kinetiky adsorpcie sírouhľíka na tomto aktívnom uhlí sme už uverejnili [9, 10]. Pri meraniach dynamiky adsorpcie sa použili štyri vrstvy aktívneho uhlia o výške 6 cm a v pravidelných časových intervaloch sa zisťovali váhové prírastky vo vrstvách o výške 6, 12, 18, 24 cm. Pracovný postup sme takisto už opísali [11]. Pokusy sa vykonali pri 22 °C, lineárnej rýchlosti plynnej zmesi 43,7 cm/s a koncentráciách



Obr. 2. Teoretické krivky závislosti nevyužitej výšky staticky pracujúcej vrstvy od stupňa vyčistenia plynu pre rôzne hodnoty konštanty m Langmuirevej rovnice adsorpčnej izotermy.

v rozsahu 5,5—23,2 g/m³. Koncentrácie sírouhlika vo vzduchu sa volili tak, aby zapadali do oblasti aktuálnej pre priemernú aplikáciu [10]. Pre každú vrstvu sa zakreslila krivka adsorbovaného množstva v závislosti od času [11]. Z týchto kriviek, ktoré majú charakteristický S tvar Wickeho adsorpčných izoplán [12, 13], vyhodnotil sa čas prieniku pre každú vrstvu. Na jeho určenie sa použil spôsob grafickej interpolácie podľa E. V. Aleksejevského a Z. I. Azarcha [14]. Čas prieniku príslušnej vrstvy sa určil z množstva, ktoré vrstva adsorbovala v čase prvého váhového prírastku nasledujúcej vrstvy. Aritmetický priemer uvedených hodnôt sa zakreslil do grafov závislosti adsorbovaného množstva od času pre rôzne výšky vrstvy priamkou rovnobežnou s osou t vo výške, ktorú udáva tento priemer. Kolmice spustené z priesečníkov tejto priamky s adsorpčnými



Obr. 3. Nomogram na výpočet času prieniku za staticky pracujúcou adsorpčnou vrstvou pre rôzne hodnoty stupňa vyčistenia plynu a pre $n = \frac{1}{3}$.

izoplanami udávajú na osi t čas prieniku. Tieto hodnoty sa pre rôzne výšky vrstvy v tab. 1 uvádzajú ako $t_{D\text{-exp}}$.

Tabuľka 1

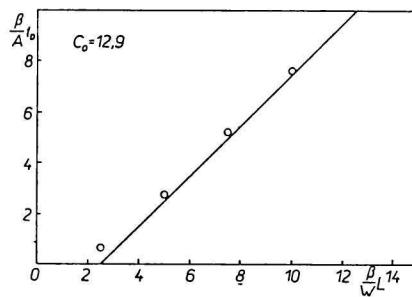
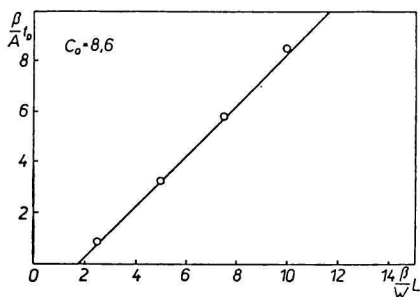
C_0	w	Q	$L = 6$		$L = 12$		$L = 18$		$L = 24$		A	β
			$t_{D\text{-exp}}$	$t_{D\text{-vyč}}$	$t_{D\text{-exp}}$	$t_{D\text{-vyč}}$	$t_{D\text{-exp}}$	$t_{D\text{-vyč}}$	$t_{D\text{-exp}}$	$t_{D\text{-vyč}}$		
5,5	43,7	0,065	5,0	3,5	19,5	18,9	34,6	34,3	49,8	49,7	11 200	19,3
6,3	43,7	0,080	4,5	4,4	18,1	18,7	32,2	32,9	45,9	47,2	10 390	19,3
8,6	43,7	0,086	4,0	3,4	15,0	14,8	26,7	26,3	39,0	37,7	8 330	18,2
9,1	43,7	0,059	3,2	2,0	13,7	13,5	25,0	25,0	36,5	36,5	8 380	18,9
12,9	43,7	0,041	—	—	10,3	9,2	19,3	18,5	28,3	27,7	6 720	18,2
23,2	43,7	0,056	—	—	5,4	6,2	11,5	12,3	17,8	18,4	4 430	16,4

C_0 = koncentrácia v g/m^3 ; w = lineárna rýchlosť v cm/s ; L = výška vrstvy v cm ; t_D = čas prieniku v $\text{s} \cdot 10^2$; β = rýchlostná konštanta v s^{-1} .

Pre dôkaz platnosti rovníc uvedených v teoretickej časti je ešte potrebné stanoviť stupeň vyčistenia plynu v rôznych výškach vrstvy v čase prieniku. Za tým účelom sa pre čas $t_{D\text{-exp}}$ každej vrstvy zistilo, koľko v danom časovom intervale adsorbovala nasledujúca vrstva. Teda v časovom rozpätí, do ktorého zapadá $t_{D\text{-exp}}$ príslušnej vrstvy, zistil sa váhový prírastok nasledujúcej vrstvy. Aritmetický priemer týchto hodnôt udáva, koľko adsorbátu v rôznych výškach v oblasti času prieniku za príslušný časový interval prenikne priemerne cez vrstvu. Z objemového prietoku a koncentrácie sa vypočíta množstvo adsorbátu, ktoré sa za ten istý časový interval do systému dodalo. Pomer množstva, ktoré cez vrstvu preniklo, k množstvu za ten istý čas do systému dodanému vyjadruje stupeň koncentrácie Q , ktorý sa uvádza v tab. 1.

Pretože konštanta n Freundlichovej rovnice adsorpčnej izotermy pre adsorpciu sírouhlíka na aktívnom uhlí Supersorbon je pri 22°C vyjadrená hodnotou 0,366, na všeobecné vyjadrenie dynamiky adsorpcie študovaného procesu sa použije rovnica (24)

pre $n = \frac{1}{3}$, čo je veľmi blízke uvádzanej hodnote. Do tejto rovnice sa za rýchlostnú



Obr. 4. Dôkaz platnosti rovnice (24) pre adsorpciu sírouhlíka na aktívnom uhlí v staticky pracujúcej adsorpčnej vrstve.

Obr. 5. Dôkaz platnosti rovnice (24) pre adsorpciu sírouhlíka na aktívnom uhlí v staticky pracujúcej adsorpčnej vrstve.

konštantu β dosadí hodnota, ktorá sa pre príslušné pracovné podmienky stanovila pri meraní kinetiky adsorpcie [1]. Henryho koeficient A , ktorý vyjadruje pomer a_0/C_0 , vypočíta sa pomocou rovnovážneho nasýtenia, sypanej váhy adsorbenta a pôvodnej koncentrácie sírouhlika vo vzduchu. Ich hodnoty sa uvádzajú v tab. 1. Pomocou týchto hodnôt a veličiny Q sa z rovnice (24) vypočítal čas prieniku za vrstvou v rôznych jej výškach. Hodnoty sa uvádzajú v tab. 1 ako $t_{D-vyč}$. Zhoda je veľmi dobrá. Len vo výške 6 cm dochádza k väčším rozdielom medzi t_{D-exp} a $t_{D-vyč}$, čo je spôsobené tým, že do tejto oblasti zasahuje ešte pracovná výška vrstvy a v nej sa formuje sorpčné čelo. Táto oblasť nie je však pre prax dôležitá. Presnosť vyjadrenia dynamiky adsorpcie rovnicou (24) názorne dokazuje obr. 4 a 5, kde sa uvádzajú výsledky meraní pri koncentráciách 8,6 a 12,9 g/m³. Bodmi sú vyznačené hodnoty $\frac{\beta}{A} \cdot t_D$, stanovené experimentálne, a priamka vyjadruje priebeh procesu tak, ako predpokladá rovnica (24). Táto priamka zodpovedá jej pre príslušné Q príslúchajúcej čiare v nomograme na obr. 3 a na nej ležia hodnoty $\frac{\beta}{A} t_D$ vypočítané podľa rovnice (24).

Symbody

- a_v — rovnovážne nasýtenie objemovej jednotky adsorbenta
- A — Henryho koeficient
- C_0 — pôvodná koncentrácia adsorbátu v nosnom plyne
- h — Mecklenburgova stratová výška
- h'_a — stratová výška adsorbátu staticky pracujúcej vrstvy
- h'_v — stratová výška vrstvy staticky pracujúcej vrstvy
- L — výška vrstvy
- L_0 — pracovná výška vrstvy
- m, n — konštanty charakterizujúce zakrivenie adsorpčnej izotermy
- q — stupeň nasýtenia adsorbenta na dne pracovnej výšky vrstvy
- Q — stupeň vyčistenia plynu, ktorý je definovaný pomerom koncentrácie v príslušnej výške vrstvy k pôvodnej koncentrácii
- S — prierez vrstvy
- t_D — čas prieniku
- w — fiktívna lineárna rýchlosť plynnej zmesi vo vrstve adsorbenta
- β — rýchlostná konštanta

Súhrn

Vychádzajúc z rovníc pracovnej výšky vrstvy kontinuálne pracujúcich adsorpčných kolón, urobil sa rozbor procesu prebiehajúceho v staticky pracujúcej adsorpčnej vrstve. Dospelo sa k záveru, že staticky pracujúcu vrstvu možno pokladať za špecifický prípad kontinuálne pracujúcej vrstvy, v ktorej stupeň nasýtenia na dne pracovnej výšky vrstvy sa rovná jednej, a odvodili sa rovnice zovšeobecňujúce proces prebiehajúci v staticky pracujúcej adsorpčnej vrstve. Ich platnosť sa dokázala stanovením dynamiky adsorpcie sírouhlika na aktívnom uhlí. Všetky veličiny po prevedení na bezrozmerný tvar spadajú na zodpovedajúcu teoretickú čiaru.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АДСОРБЦИИ В СТАТИЧЕСКИ РАБОТАЮЩИХ КОЛОННАХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ УРАВНЕНИЙ РАБОЧЕЙ ВЫСОТЫ СЛОЯ

ШТЕФАН КАХАНЯК

Кафедра неорганической технологии Словацкой высшей технической школы
в Братиславе

Выводы

Выходя из уравнений рабочей высоты слоя непрерывно работающих адсорбционных колонн проведен анализ процесса протекающего в статически работающем адсорбционном слое. Пришлось к заключению, что статически работающий слой можно полагать за специфический случай непрерывно работающего слоя, в котором степень насыщения на дне работающей высоты слоя равен единице и отвелись уравнения обобщающие процесс, протекающий в статически работающем слое. Их применимость доказалась определением динамики адсорбции сероуглерода на активном угле. Все величины после перевода на безразмерную форму ложатся на им соответствующую теоретическую линию.

Поступило в редакцию 4. 5. 1961 г.

ANALYSE DER ADSORPTIONSDYNAMIK IN STATISCH ARBEITENDEN KOLONNEN VOM STANDPUNKT DER GLEICHUNGEN DER ARBEITSHÖHE DER SCHICHT

ŠTEFAN KACHAŇÁK

Lehrstuhl für anorganische Technologie an der Slowakischen Technischen Hochschule
in Bratislava

Zusammenfassung

Ausgehend von den Gleichungen der Arbeitshöhe der Schicht von kontinuierlich arbeitenden Adsorptionskolonnen wurde eine Analyse des in einer statisch arbeitenden Adsorptionsschicht verlaufenden Prozesses durchgeführt. Der Autor gelangte zur Schlussfolgerung, dass man die statisch arbeitende Schicht als einen spezifischen Fall einer kontinuierlich arbeitenden Schicht ansehen kann, in welcher der Sättigungsgrad am Boden der Arbeitshöhe der Schicht gleich eins ist, und es wurden die Gleichungen, welche den in einer statisch arbeitenden Adsorptionsschicht verlaufenden Prozess verallgemeinern, abgeleitet. Deren Gültigkeit wurde durch die Bestimmung der Adsorptionsdynamik von Schwefelkohlenstoff auf Aktivkohle nachgewiesen. Alle Grössen entfallen nach der Überführung in die dimensionslose Form auf die ihnen entsprechende theoretische Linie.

In die Redaktion eingelangt den 4. 5. 1961

LITERATÚRA

1. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 575 (1961). — 2. Kachaňák Š., Chem. zvesti 15, 590 (1961). — 3. Todes O. M., Fluidní technika v adsorpci a katalyze, Praha 1957, 44. — 4. Dubinin M. M., Čmutov K., *Fiziko-chimičeskije osnovy protivogazovogo dela*, Moskva

1939. — 5. Mecklenburg W., Kubelka P., *Z. Elektrochem.* 31, 488 (1925). — 6. Šilov N. A., Lepin L. K., *Kolloid-Z.* 49, 288 (1929). — 7. Rahlfs E., *Z. anorg. allgem. Chem.* 231, 162 (1937). — 8. Serpionova E. N., *Promyšlennaja adsorbicija gazov i parov*, Moskva 1956. — 9. Kachaňák Š., *Chem. zvesti* 13, 791 (1959). — 10. Kachaňák Š., *Chem. zvesti* 14, 334 (1960). — 11. Kachaňák Š., *Chem. průmysl* 10, 72 (1960). — 12. Wicke E., *Kolloid-Z.* 86, 167 (1939); 86, 295 (1939). — 13. Wicke E., Weide E., *Kolloid-Z.* 90, 156 (1940). — 14. Aleksejevskij E. V., Azarch Z. I., *Ž. prikl. chim.* 8, 803 (1935).

Do redakcie došlo 4. 5. 1961

Adresa autora:

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