

VLIV PERIODICKY MODULOVANÉHO NÁSTRÍKU NA ZÁDRŽ KAPALINY A TLAKOVOU ZTRÁTU ZKRÁPĚNÉHO REAKTORU

VRATISLAV TUKAČ a JIŘÍ HANIKA

Ústav organické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6
vratislav.tukac@vscht.cz, jiri.hanika@vscht.cz

Došlo 5.2.04, přijato 29.4.04.

Klíčová slova: zkrápěný reaktor, periodická modulace nástřiku, rozdělení dob prodlení, zádrž kapaliny, podélné promíchávání, tlaková ztráta

Úvod

Výkon zkrápěného reaktoru může být nepříznivě ovlivněn nerovnoměrným tokem kapalné fáze a neúplným smočením lože katalyzátoru. Informace o toku a množství kapalné fáze v katalytickém loži zkrápěného reaktoru lze získat metodou měření rozdělení dob prodlení stopovací látky v systému nebo stanovením volně vyteklé dynamické zádrže kapaliny¹. Cílem této práce bylo studium vlivu parametrů periodicky modulovaného nástřiku kapaliny na hydrodynamické vlastnosti zkrápěného reaktoru pilotního měřítka, zejména na dynamickou zádrž kapaliny, míru podélného promíchávání a tlakovou ztrátu.

Zkrápěný reaktor je třífázový vertikálně orientovaný trubkový reaktor naplněný tvarovaným heterogenním katalyzátorem. Kapalná fáze stéká po katalytické náplni reaktoru obvykle souprůdně s reagujícím plynem. Tyto reaktory jsou využívány při velkokapacitních hydrogenacích, zejména hydrodesulfurizaci ropných frakcí, nebo také pro oxidační reakce, např. oxidace polutantů v odpadních vodách. Výkon, energetické nároky, životnost katalyzátoru i stabilitu a bezpečnost provozu významně ovlivňuje hydrodynamika² toku fází reaktorem. Režim toku, tlaková ztráta, zádrž a distribuce kapaliny, podélné a radiální promíchávání a míra smočení povrchu katalyzátoru ovlivňuje transport reaktantů a tepla. Při nižších průtocích fází kapalina teče ve formě filmu a pramének tzv. zkrápěným tokem, při vysokých průtocích dochází k periodickému zahlcování částí lože kapalinou při přirozeném pulzním režimu. Hranice mezi zkrápěným a pulzním tokem se nachází přibližně u hodnot mimovrstvových hmotnostních průtoků $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pro kapalnou a $0,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pro plynnou fázi. Při pulzním režimu dochází k intenzivní interakci mezi fázemi, která vede k periodickému obnovování smočeného povrchu katalyzátoru a intenzivnější výměně hmo-

ty a tepla. Alternativou přirozeného pulzního toku je umělý pulzní tok vyvolaný periodickou modulací toku, např. přerušovaným nástřikem fází (většinou kapaliny) do reaktoru^{3–5}.

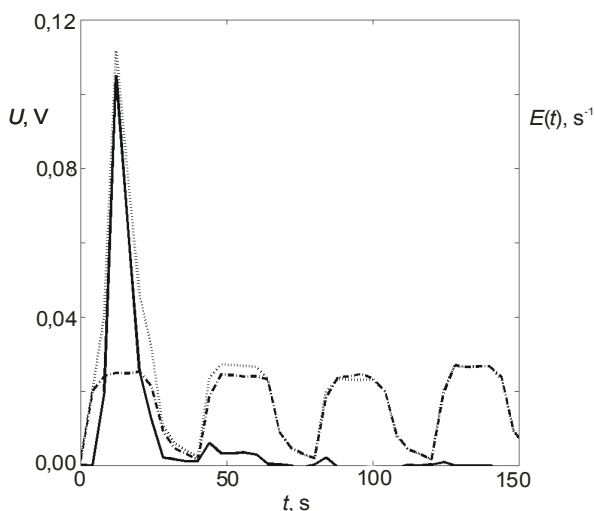
Pro popis toku v reaktoru se nejčastěji používají dva hydrodynamické modely⁶ – pseudohomogenní s pístovým tokem fází a pseudohomogenní s axiálním promícháváním. Parametry těchto modelů lze získat z měření distribuce dob prodlení stopovací látky v systému⁶.

Experimentální část

Experimenty byly vedeny jak s kontinuálním, tak i periodicky modulovaným nástřikem kapaliny za konstantního průtoku plynu. Byl použit systém voda-vzduch za atmosférického tlaku a laboratorní teploty (20 °C). Zkrápěný reaktor byl tvořen 500 mm vysokým skleněným válcem o vnitřním průměru 108 mm opatřeným bočními tubusy pro připojení elektrod (stavebnice Kavalier Sáza-va). 33 cm vysoká vrstva náplně byla tvořena extrudáty aktivního uhlí (Chemviron Carbon) o ekvivalentním průměru 4,6 mm nebo skleněnými kuličkami o průměru 5 mm. Kapalina byla čerpána ze zásobní nádrže skleněným čerpadlem s teflonovým vlnovcem do přepadové nádrže umístěné 3,5 m nad základnou. Z nádrže zajišťující konstantní přetlak stékala kapalina samospádem a přes rota- metr, regulační a solenoidový ventil natékala do sprchové hlavice, kterou byla rozstříkována nad náplň. Tlakový vzduch z kompresorového rozvodu byl po redukci tlaku veden přes rotometr a regulační ventil na hlavu kolony, kde byla snímána tlaková ztráta jako přetlak vůči atmosféře U-manometrem a můstkovým elektrickým čidlem. Po průchodu vrstvou náplně a separátorem fází byl odplyn veden do atmosféry a kapalina se vracela do zásobní nádrže. Řízení nástřiku kapaliny, tj. ovládání solenoidu, a měření vodivosti a tlakové ztráty bylo realizováno prostřednictvím modulů Adam 4000 (Advantech) propojených s počítačem přes seriové rozhraní RS 485. Řídící, monitorovací a vyhodnocovací programy byly vytvořeny v programovém prostředí Matlab (MathWorks). Byla také měřena volně vyteklá dynamická zádrž kapaliny jako objem kapaliny vyteklý z náplně po zastavení nástřiku.

Metoda rozdělení dob prodlení stopovací látky využívala měření odezvy vodivosti ve vrstvě katalyzátoru na nástřik nasyceného roztoku chloridu draselného. Vodivostní elektrodu tvořila nerezová síť nesoucí náplň reaktoru a měděný drát zasunutý bočním tubusem do náplně ve vzdálenosti 5 cm na síti. Vyhodnocení bylo provedeno momentovou metodou a identifikací parametrů modelu kaskády míchaných buněk⁶, který je ekvivalentní modelu pístového toku s podélným promícháváním.

Hodnoty signálu naměřené vodivostní elektrodou při periodickém nástřiku kapaliny byly ovlivněny také proměnlivou rychlostí průtoku kapaliny. Na obrázku 1 je uveden příklad srovnání měřené signálové odezvy po nástřiknutí stopovací látky a periodicky se měnící hodnoty pozadí signálu způsobené proměnlivým průtokem kapaliny. Aby



Obr. 1. Odezva na impulzní nástřik stopovací látky a periodické pozadí vodivostního signálu při modulačním nástřiku kapaliny. Normalizovaná výsledná odezva frekvenční funkce na impulzní nástřik stopovací látky po odečtení pozadí vodivostního signálu při periodickém nástřiku kapaliny, perioda 40 s, split 0,5, střední doba prodlení $t_m = 16,6$ s. — distribuční funkce $E(t)$, - - - odezva na impuls U , - - - - - pozadí signálu U

bylo možné vyhodnotit odezvy momentovou metodou, bylo třeba od odezvy vodivosti stopovací látky odečíst tyto hodnoty pozadí. Výsledná křivka po normalizaci na frekvenční funkci $E(t)$ je vykreslena plnou čarou. Střední doba prodlení stanovena jako první moment normalizované křivky pak činila 16,6 s. Alternativní metodou by byla integrace obou křivek zvlášť a následně odečtení integrálu, který představuje pozadí. Výsledek by ale byl zatížen větší chybou díky chvostování a nastavení nulové linie.

Vyhodnocení bylo provedeno standardním postupem – momentovou metodou⁶.

Hodnoty normalizované distribuční funkce E lze získat z časové řady naměřeného signálu napětí U podle vztahu:

$$E(t) = \frac{U(t)}{\int_0^{\infty} U(t) dt} \quad (1)$$

a obecný r -tý moment M_r křivky je definován následujícím integrálem:

$$M_r = \int_0^{\infty} t^r E(t) dt \quad (2)$$

Nulový moment charakterizuje celistvost, první moment střední dobu prodlení a druhý moment lze využít pro výpočet rozptylu a následně Pecletova kritéria charakterizujícího podélné promíchávání.

Pomocí střední doby prodlení t_m , ekvivalentní první-

mu momentu M_1 a známého průtoku kapaliny Q_L lze vypočítat hodnotu efektivní dynamické zadržky kapaliny H_{ef} vztažená na objem výplně V_r podle následujícího vztahu:

$$H_{ef} = \frac{Q_L t_m}{V_r} \quad (3)$$

Doba prodlení τ vztažená na celý volný objem lože, nikoli jen na objem kapaliny, použitá pro stanovení relativní délky periody nástřiku kapaliny, se vypočte za pomoci mezerovitosti výplně ε :

$$\tau = \frac{\varepsilon V_r}{Q_L} \quad (4)$$

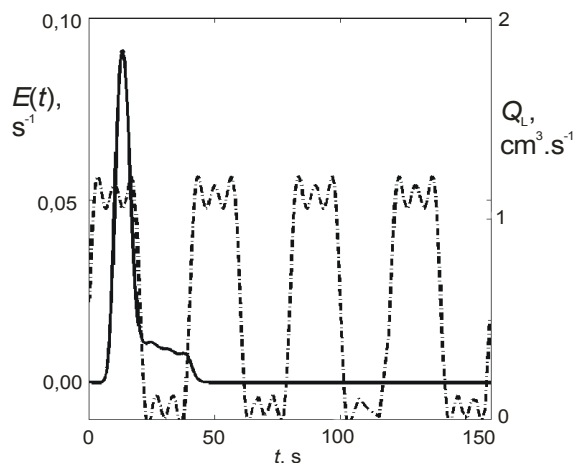
Druhý obecný moment křivky slouží k výpočtu relativního rozptylu σ podle vztahu:

$$\sigma^2 = \frac{M_2 - (M_1)^2}{(M_1)^2} \quad (5)$$

Vztahy mezi parametrem hydrodynamického modelu – Pecletovým kritériem (Pe), charakterizujícím axiální promíchávání, a číselnými charakteristikami (momenty) odezvovalých křivek jsou publikovány⁶ pro různé okrajové podmínky. Pro systém z obou stran uzavřený, tzn., že k podélnému promíchávání dochází pouze uvnitř systému, platí:

$$\sigma^2 = \frac{2Pe - 2 + 2e^{-Pe}}{Pe^2} \quad (6)$$

Pro srovnání bylo testováno i řešení pro systém otevřený na vstupu, ale odchylky výsledků ležely v mezích chyb experimentů. Pecletovo kritérium bylo z těchto vztahů



Obr. 2. Řešení odezvy modelu kaskády 20 míchaných buněk při periodickém nástřiku kapaliny a konstantní zadržce kapaliny; — distribuční funkce $E(t)$, - - - - - modulační nástřik kapaliny Q_L , perioda 40 s, split 0,5

vyhodnoceno nelineární regresí simplexovou metodou řešitelem programu Matlab.

Pro popis zkrápěné vrstvy byl formulován model dvacetičlenné kaskády ideálně míchaných buněk, využívající parametry stanovené metodou rozdělení dob prodlení. Periodický nástřik byl simulován Fourierovou funkcí. Výsledky řešení modelu ve formě vypočteného průběhu frekvenční funkce uvedené na obr. 2 byly v dobrém souladu s experimentálními daty a potvrdily jejich věrohodnost. Rozdíl mezi řešením a experimentálními daty, který byl dán předpokladem konstantní hodnoty zadržky kapaliny v čase, ukazuje, že tento předpoklad při modulovaném nástřiku není splněn a v závislosti na nástřiku dochází také k periodické změně zadržky.

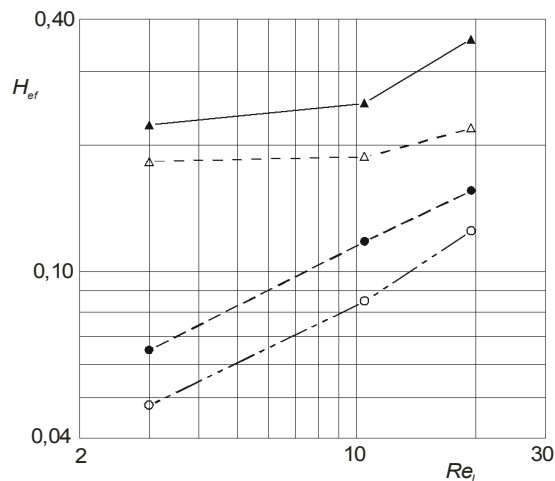
Kromě sledování vodivosti byla také tlakovým převodníkem měřena při experimentech tlaková ztráta vrstvy náplně. Byly pozorovány oscilace hodnot tlakové ztráty a signálu odpovídajícího vodivosti při periodicky přerušovaném nástřiku kapaliny do reaktoru. Oscilace tlakové ztráty lze vysvětlit periodickým zahlcováním lože kapalinou ve fázi nástřiku kapaliny a vypuzením kapaliny z lože proudícím plynem ve fázi zastavení jejího přívodu.

Výsledky a diskuse

Sledovanými veličinami byly velikost efektivní zadržky kapaliny stanovené metodou rozdělení dob prodlení a dynamické zadržky stanovené jako objem kapaliny vytekající z náplně po zastavení nástřiku. Vyhodnoceno bylo také Pecletovo kritérium podélného promíchávání kapaliny a byla měřena tlaková ztráta lože. Řídicími veličinami byly průtoky kapaliny a plynu a při periodické modulaci nástřiku kapaliny také parametry modulace: délka periody a její split (tj. podíl periody, po který byla do lože dávkována kapalina). Pro porovnání vlastností extrudovaného aktivního uhlí byla také prováděna měření na standardní náplni z 5 mm skleněných kuliček. Vliv toku kapalně fáze na sledované veličiny při periodicky modulovaném nástřiku byly porovnávány při délkách period odpovídajících středním dobám prodlení, tj. pro $Re_L = 3, 10$ a 19 činily délky period 200, 60 a 40 s. Za těchto podmínek se projevovaly nejvýraznější rozdíly v měřených veličinách.

Vliv rychlosti toku fází na hodnoty zadržky kapaliny

Vliv průtoku kapalně a plynné fáze na množství kapaliny zadržované ve zkrápěném loži byl studován na náplni tvořené skleněnými kuličkami nebo katalyzátorem. Byla provedena měření pro tři střední hodnoty průtoku kapaliny, jak při kontinuálním toku, tak pro periodickou modulaci nástřiku kapaliny. Výsledky jsou prezentovány na obrázku 3 jako závislost efektivní dynamické zadržky kapaliny v loži, stanovené pomocí metody rozdělení dob prodlení, na Reynoldsově kritériu proudění kapaliny. Efektivní dynamická zadržka kapaliny roste s rostoucím průtokem kapaliny při kontinuálním i modulovaném toku. Uvedené závěry platí jak pro náplň ze skleněných kuliček tak tvořenou

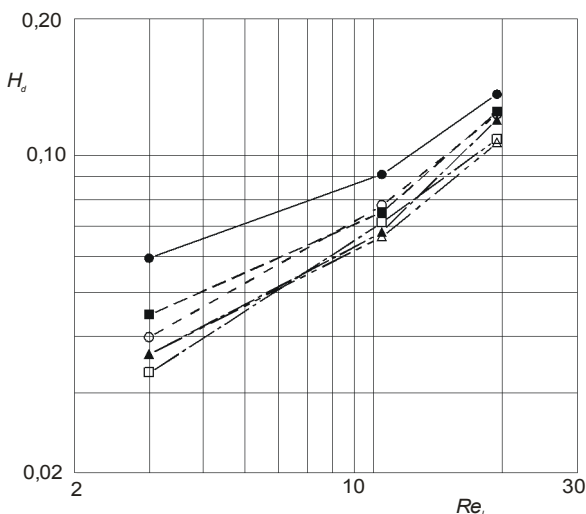


Obr. 3. Srovnání závislosti efektivní dynamické zadržky kapaliny na hodnotě Reynoldsova kritéria kapaliny pro katalyzátor (\blacktriangle kontinuální, \triangle pulzní tok) a skleněné kuličky (\bullet kontinuální, \circ pulzní tok); výška vrstev 33 cm, perioda 40 s, split 0,5 periodického nástřiku kapaliny, $Re_G = 6,7$

výtlačky aktivního uhlí. U aktivního uhlí se projevuje jeho větší smáčivost a porozita, efektivní zadržka je mnohem vyšší než u skleněných kuliček a je méně citlivá na průtok kapaliny zejména pro nižší hodnoty Re kritéria. Příčinou bude existence stabilních menisků kapaliny mezi částicemi katalyzátoru. Dále bylo nalezeno, že efektivní dynamická zadržka dosahuje při periodickém nástřiku nižších hodnot, a to pro obě testované náplně. Při délce periody přibližně rovné vypočítané střední době prodlení a splitu blízkého hodnotě 0,5 dochází v režimu s periodickým nástřikem kapaliny k nejvýraznějšímu snížení efektivní dynamické zadržky kapaliny oproti toku kontinuálnímu.

Experimentálně byl sledován i vliv průtoku plynné fáze na zadržku kapaliny, hodnota zadržky klesala s rostoucím průtokem plynu. Ze závislosti efektivní zadržky kapaliny na Reynoldsově kritériu proudění vzduchu bylo také patrné, že k nejvýraznějšímu snížení efektivní dynamické zadržky kapaliny, tj. největší citlivosti k průtokem plynu, dochází při nižších hodnotách průtoku vzduchu, zatímco při vysokých hodnotách proudění efektivní dynamická zadržka kapaliny s průtokem vzduchu klesá jen málo, protože její hodnota je nízká díky vypuzení pseudostabilních menisků kapaliny z lože proudícím plynem.

Kromě efektivní dynamické zadržky byla pro srovnání stanovována také volně vyteká dynamická zadržka kapaliny. Předpokládá se, že je tvořena hlavně kapalinou proudící ložem a jen částečně pseudostabilními menisky kapaliny mezi částicemi náplně. Její hodnota by tedy proti efektivní zadržce měla být nižší. Na obr. 4 je uvedena závislost dynamické zadržky na Reynoldsově kritériu proudění kapaliny



Obr. 4. Závislost dynamické volně vyteklé zadržky kapaliny H_d na Reynoldsově kritériu kapaliny Re_L při periodickém nástřiku; $Re_G = 0$ (● kont., ○ pulzní), $Re_G = 8$ (■ kont., □ pulzní), $Re_G = 20$ (▲ kont., △ pulzní), výška vrstvy katalyzátoru 33 cm, perioda 40 s, split 0,5

stanovená na katalyzátoru při různém průtoku plynu. Potvrdil se předpoklad, že dynamická zadržka je přibližně poloviční proti efektivní zadržce kapaliny a podobně jako u efektivní zadržky hodnoty odpovídající pulznímu toku jsou nižší než pro tok kontinuální. Obdobné výsledky byly získány i pro lože skleněných kuliček, velikost dynamické zadržky byla podobně jako u efektivní zadržky v loži skleněných kuliček nižší než u porézního aktivního uhlí.

Vliv parametrů modulační nástřiku kapaliny

Umělý pulzní tok byl vytvářen periodickou modulací nástřiku kapaliny řízeným otevíráním a zavíráním solenoidového ventilu. Perioda představuje časový interval mezi dvěma následujícími počátky otevření ventilu a split podíl doby otevření z celkové délky periody. Délka periody a její split významně ovlivňují hydrodynamiku v loži, zejména je-li perioda souměřitelná s prodlením kapaliny v loži. Proto bylo dále použito kritérium relativní periody zahrnující délku periody i dobu prodlení.

Vliv délky relativní periody nástřiku

Relativní periodu představuje podíl skutečné doby periody nástřiku a střední doby prodlení kapaliny vypočtené ze známého objemového průtoku kapaliny a volného objemu lože.

Závislosti efektivní dynamické zadržky na relativní periodě vykazují minimum pro hodnoty relativní periody blízké jedné. Při režimu s periodickým nástřikem kapaliny je efektivní dynamická zadržka kapaliny nižší oproti hodnotám odpovídajícím kontinuálnímu toku. Obdobné výsledky

byly naměřeny i na skleněných kuličkách, ale pokles efektivní zadržky při periodickém režimu nebyl tak výrazný a minimum se nacházelo v okolí hodnoty relativní periody 0,7. Stejně závislosti byly pozorovány rovněž při studiu vlivu periodického nástřiku kapaliny na hodnotu volně vyteklé dynamické zadržky. Zjednodušeně lze předpokládat, že při režimu s periodickým nástřikem kapaliny se oproti kontinuálnímu režimu snižuje průměrná tloušťka filmu kapaliny, ve skutečnosti dochází k obnovování filmu na povrchu částic. Tohoto jevu může být využito v systémech, kde rychlost reakce je bržděna nedokonalým transportem plynných reakčních komponent k částicím katalyzátoru, neboť se snížením tloušťky filmu kapaliny nebo jeho obnovením se jejich transport urychluje.

Vliv délky relativní periody na podélné promíchávání při periodickém nástřiku a kontinuálním nástřiku kapaliny byl vyjádřen hodnotami Pecletových kritérií při průtoku plynu, jemuž odpovídá Reynoldsovo kritérium 6,7. Výška vrstvy aktivního uhlí byla 33 cm. Hodnoty Pecletova kritéria při periodickém nástřiku kapaliny vykazují maximum opět v okolí hodnoty relativní periody rovné jedné. Tato maxima přesahují hodnoty naměřené při kontinuálním toku a s rostoucím středním průtokem kapaliny se vzdalují hodnotám pro kontinuální tok.

Nejvýraznější zvýšení Pecletova kritéria a tedy snížení podélného promíchávání kapaliny a přibližování se pistovému toku se projevuje stejně i na náplni ze skleněných kuliček při režimu s periodickým nástřikem kapaliny.

Při relativních periodách blízkých jedné dochází k nejvýraznějšímu snížení hodnot efektivní i dynamické zadržky kapaliny a tedy ke snížení tloušťky filmu kapaliny a následně i zmenšení promíchávání kapaliny v axiálním směru, protože se snižuje hodnota kapacity zadržky kapaliny, což může mít pozitivní vliv na selektivitu případných následných reakcí provozovaných v tomto typu reaktoru.

Vliv splitu periody při jednotkových relativních periodách

Vliv splitu při jednotkové hodnotě relativní periody modulační nástřiku byl studován na vrstvě katalyzátoru (výška vrstvy = 33 cm). Byla zvolena taková délka periody, při které dochází k nejvýraznějšímu snížení efektivní dynamické zadržky kapaliny a současně dosažení maxima Pecletova kritéria, tj. stav, kdy je systém na modulaci nejcitlivější.

Měření byla provedena pro různé nástřiky kapaliny, při periodách délky 40 s, 60 s a 200 s a středním průtokem 20, 70 a 130 l.h⁻¹. Objemový průtok vzduchu činil 800 l_N.h⁻¹. Z výsledků vyplývá, že k nejvýraznějšímu snížení efektivní dynamické zadržky kapaliny dochází při hodnotách splitu blízkých 0,5, tj. první polovinu periody je kapalina dávkována do reaktoru a během druhé poloviny samovolně odtéká.

Vliv splitu periody na hodnotu kritéria podélného promíchávání byl testován při třech průtocích kapaliny a při toku plynu, kterému odpovídá hodnota Reynoldsova kritéria $Re_G = 6,73$, na aktivním uhlí. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí splitů 0,3, 0,5 a 0,6. K nejvýraznějšímu nárůstu hodnot Pecletova kritéria při periodickém nástřiku

kapaliny ve srovnání s kontinuálním tokem dochází při splitu 0,5 a při maximálním ($Re_L = 19,42$) použitím nástřiku kapaliny. Naopak při nejnižším použitím toku kapaliny ($Re_L = 3,0$) je zvýšení Pecletova kritéria v režimu s periodickým nástřikem proti kontinuálnímu toku kapaliny nevýrazné a při splitu 0,6 je dokonce jeho hodnota nižší než při kontinuálním toku.

Modulace nástřiku kapaliny má vliv i na tlakovou ztrátu vrstvy náplně kolony. Průměrný přetlak vzduchu proti atmosféře snímáný před vrstvou náplně odpovídá odporu vrstvy proudění plynu. Porovnán byl také periodický a kontinuální tok kapaliny. Experimenty byly provedeny při $Re_G = 6,7$. Vliv modulace nástřiku kapaliny na tlakovou ztrátu souvisí s dynamickou zádrží kapaliny, která představuje zúžení průtočného průřezu pro plyn. Také udržení konstantního průměrného nástřiku kapaliny při různém splitu periody vede ke zvýšení okamžitého nástřiku při malé hodnotě splitu a naopak ke snížení okamžitého nástřiku při splitu vyšším. Při splitu 0,5 je průměrná hodnota polovinou okamžitého nástřiku. Protože při nižším splitu je okamžitý průtok kapaliny vyšší než průměrný, je zřejmé, že dojde také ke zvýšení tlakové ztráty, přestože kapalina je nástřikována kratší dobu. Naopak při nejvyšším testovaném splitu tlaková ztráta dosahuje nejnižších hodnot. Při nejmenší hodnotě splitu 0,3 dochází při všech studovaných průtocích kapaliny ke zvýšení tlakové ztráty oproti toku kontinuálnímu a při splitu 0,6 naopak ke snížení tlakové ztráty.

Byl také testován vliv délky relativní periody na tlakovou ztrátu při konstantní hodnotě splitu 0,5. Bylo nalezeno, že při nejvyšším průtoku kapaliny dochází při periodickém nástřiku kapaliny ke zvýšení tlakové ztráty oproti toku kontinuálnímu, naopak při nižších průtocích kapaliny dochází ke snížení tlakové ztráty, protože po zastavení nástřiku kapaliny dojde k vypuzení zbývající zádrže kapaliny proudícím plynem.

Vyšší tlaková ztráta znamená vyšší náklady na provoz procesu. Z tohoto hlediska by bylo tedy nejvýhodnější pracovat při co nejvyšším splitu. V předcházejících kapitolách však bylo ukázáno, že efektivní dynamická zádrž kapaliny dosahuje nejnižších hodnot při splitu 0,5 a současně Pecletova kritéria vykazují maximální hodnotu. Proto byla většina experimentů realizována při splitu periody 0,5.

Závěr

Byla vypracována metodika vyhodnocení odezvového signálu na impulzní nástřik stopovací látky do náplňové kolony při periodické modulaci nástřiku kapaliny. Z měření rozdělení dob prodloužení byly vyhodnoceny hodnoty efektivní dynamické zádrže kapaliny a Pecletova kritéria podélného promíchávání. Vypočtené hodnoty byly porovnány s měřením volně vyteklé dynamické zádrže kapaliny a byla měřena také tlaková ztráta vrstvy. Kontinuální a periodicky modulovaný nástřik kapaliny byl testován na náplni tvořené vytlačky aktivního uhlí nebo skleněnými

kuličkami.

Bylo nalezeno, že rostoucí průtok kapaliny snižuje hodnoty střední doby prodloužení a zvyšuje jak efektivní, tak dynamickou zádrž kapaliny, Pecletovo kritérium a tlakovou ztrátu vrstvy v kontinuálním zkrápěném i periodickém pulzním režimu.

Rostoucí průtok plynu zvyšuje tlakovou ztrátu vrstvy, mírně snižuje hodnoty dynamické zádrže kapaliny a téměř neovlivňuje hodnotu Pecletova kritéria ve zkrápěném i periodickém pulzním režimu.

V režimu s periodicky modulovaným nástřikem kapaliny dochází ke snížení volně vyteklé i efektivní dynamické zádrže kapaliny, tj. ke snížení tloušťky filmu kapaliny na částicích výplně, což může zlepšit transport plyných reaktantů. Dochází také ke zvýšení hodnot Pecletova kritéria oproti zkrápěnému toku (nejvýrazněji pro hodnoty relativních pracovních period = 1 a split 0,5), tj. snížení axiálního disperzního koeficientu, přiblížení k pístovému toku a potenciální zlepšení selektivity při provozování následných reakcí. Nejvyšších hodnot Pecletova kritéria je dosaženo při stejných dobách period, při kterých dochází k maximální redukci dynamické zádrže kapaliny.

Při splitu menším než 0,5 dochází v důsledku vyššího maximálního průtoku kapaliny ke zvýšení tlakové ztráty a hydrodynamické parametry dosahují extrému při délce relativní periody menší než 1, naopak při splitu větším než 0,5 při délce relativní periody větší než 1.

Tato práce vznikla za finanční podpory MŠMT ČR, grant VZ MSM 223100001.

LITERATURA

1. Tukač V., Hanika J.: Chem. Eng. Sci. 47, 2227 (1992).
2. Holub R. A., Dudukovic M. P., Ramachandran P. A.: Chem. Eng. Sci. 47, 2343 (1992).
3. Turco F., Hudgins R. R., Silveston P. L., Sicardi S., Manna L., Banchero M.: Chem. Eng. Sci. 56, 1429 (2001).
4. Lange R., Hanika J., Stradiotto D., Hudgins R. R., Silveston P. L.: Chem. Eng. Sci. 49, 5615 (1994).
5. Kouris Ch., Neophytides St., Vayenas C. G., Tsanopoulos J.: Chem. Eng. Sci. 53, 3129 (1998).
6. Westerterp K. R., Van Swaaij W. P. M., Beenackers A. A. C. M.: *Chemical Reactor Design and Operation*. John Wiley & Sons, New York 1984.

V. Tukač and J. Hanika (*Department of Organic Technology, Institute of Chemical Technology, Prague*): **The Effect of Modulated Feed on Liquid Hold-up and Pressure Drop in Trickle Bed Reactor**

The performance of a trickle bed reactor can be considerably affected by the liquid amount and uniformity of its flow through the catalyst bed. The aim of the work was to determine the influence of periodic modulation of liquid

feed on hydrodynamic properties of the pilot-scale trickle bed reactor using the method of residence time distribution experiment. By evaluation of measurement, mean residence time, effective dynamic liquid hold-up and Peclet number of longitudinal mixing were determined. Simultaneously, freely drained-out dynamic hold-up of liquid and pressure drop in packed bed were estimated and the results were compared with continuous flow measurement. The experiments with the system water – air were made with both continuous and periodically modulated feed of liquid. A glass trickle bed reactor of length 500 mm and 106 mm in diameter was filled with 4.6-mm active carbon extrudates or glass beads 5 mm in diameter. Evaluation of liquid conductivity response in the catalyst layer to injection of a saturated KCl solution was per-

formed by the moment method and by identification of parameters of the continuous stirred tank cascade model. It was found that periodic liquid feed rate modulation leads to a decrease in the freely drained-out liquid and also in effective dynamic hold-up of liquid in the bed. In case of liquid feed rate modulation a minimum was observed on the dependence of liquid hold-up at a split of 0.5 and the time period corresponding to the theoretical mean hold-up time, calculated from the flow rate of liquid and void volume in the packed bed. In the periodic feed rate modulation regime under the same hydrodynamic conditions the values of the Peclet criterion increase compared with continuous flow. Suppression of axial dispersion in the periodic regime leads to approaching to the ideal plug flow.

PHARMtechexpo 2005, Střední & Východní Evropa, Farmaceutická výroba, Zpracování a Balení, Exhibice & Konference

*Veletržní Palác, Praha, Česká republika
9.-10. února 2005*

Druhá PHARMtechexpo exhibice a konference se uskuteční ve Veletržním paláci v Praze od 9. do 10. února 2005. Exhibice se zaměří na technologii a řešení farmaceutického výrobního sektoru společností v regionu.

První PHARMtechexpo 2004 se uskutečnila v Budapešti v únoru 2004 s více než 75 vystavovatelů, kteří představovali technologii pro farmaceutický průmysl – produkt a servis. Exhibice se zúčastnilo více než 24 zemí, které přestavily největší výrobce v regionu. Program výstavy a konference se vzájemně doplňoval.

Hlavní výzva je adresována vyššímu managementu farmaceutických společností ve Střední a Východní Evropě. Program je zaměřen na výzkum a vývoj, prodej a marketing farmaceutických společností ve Střední a Východní Evropě.

“ Významným prospěchem takové události je vytváření obchodních řetězců ve farmaceutickém průmyslu, a tím se vyvarovat nedostatku konstruktivní komunikace mezi obchodními společnostmi.”

Manager logistiky, Alkaloid AD Skopje (Delegát pro PHARMtechexpo 2004)

Informace o možnostech účasti: MarkR@marcusevanscy.com
Webová stránka události: www.pharmtechexpo.com