

الخلاصة

تضمن البحث دراسة عملية ونظرية لكفاءة أداء عمود الطبقة الوشله Trickle bed Reactor عند طرق تشغيليه مختلفه، التشغيل المستقر (Steady State Operation) والتشغيل الدوري (Unsteady Periodic Operation) والمتضمن التقطيع الدوري لمعدل جريان السائل (Liquid Flow Modulation) لبيان إمكانية زيادة كفاءة العمل وتحسين الانتقائية. تضمنت الدراسة العملية نصب جهاز مختبري وأجراء سلسلة من التجارب لدراسة العوامل المؤثرة على حدود الطبقة (Transition boundary) والانحدار في الضغط (Pressure drop) ونسبة السائل (Liquid holdup) لنظامي air-water, air-acetone ومعامل انتقال الكتلة السائل - صلب (Liquid-solid mass transfer coefficient) باستخدام محلول الالكتروليتي ودرجة الاسيتون وهي :-

معدل جريان السائل والغاز وضغط المفاعل ودرجة حرارة المفاعل وعوامل التشغيل الدوري وتشتمل على زمن الدورة الكلي (Period time) على نمطين، البطيء (slow mode) والسريع (Fast mode) ونسبة زمن فتح السائل الى زمن الدورة الكلي (Cycle split). النتائج العملية أثبتت أن التشغيل الدوري لمفاعل الطبقة الوشله أدت الى تحسين كفاءة أداء المفاعل كالتالي :-

- تم إيجاد حدود الطبقة ومعامل انتقال الكتلة السائل - صلب في التشغيل الدوري عند زمن الدورة السريع فقط واتجهت حدود الطبقة نحو معدلات جريان سائل اقل بكثير مما في التشغيل المستقر. لوحظ زيادة معدل معامل انتقال الكتلة السائل - صلب عما في التشغيل المستقر عند نسبة زمن فتح السائل 0.2, 0.5 وهذا يدل على تحسن نسبة الترطيب (Wetting efficiency)

- قلت معدلات الانحدار في الضغط ومعدل نسبة السائل في التشغيل الدوري مقارنة مع التشغيل المستقر مما يؤدي الى زيادة كفاءة و أداء المفاعل.

- تحسنت نسبة التحول (Conversion) و الانتقائية (Selectivity) لدرجة الاسيتون في

التشغيل الدوري عند زمن الدورة السريع 0.5 عند نسبة زمن فتح السائل 0.5 مقارنة بالنسبة المذكورة في التشغيل المستقر 19.608%، 25.245% على التوالي، انخفضت نسبة التحول و الانتقائية في التشغيل المستقر

التشغيل المستقر عند زمن الدورة البطيء :-

5922

6600

تم إيجاد معادلات تجريبية لكل من الانحدار في الضغط نسبة السائل و معامل انتقال الكتلة
السائل - صلب للتشغيل المستمر :-

Air-Water

$$\frac{\Delta P / H}{\rho_L g} = 0.9339 R_{eL}^{1.2415} R_{eG}^{-1.3235} W_{eL}^{-0.3096} G_{eL}^{0.12147} \chi_L^1$$

$$\varepsilon_L = 0.6867 R_{eL}^{0.5365} R_{eG}^{-0.2028} \left(G_{eL} \left(1 + \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} \right) \right)^{-0.1052} W_{eL}^{-0.0151}$$

Air-Acetone

$$\frac{\Delta P / H}{\rho_L g} = 92.295 R_{eL}^{-0.1276} R_{eG}^{-0.5295} W_{eL}^{0.3165} G_{eL}^{-0.1682} \chi_L^1$$

$$\varepsilon_L = 14.4497 R_{eL}^{0.31988} R_{eG}^{-0.82098} \left(G_{eL} \left(1 + \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} \right) \right)^{0.06192} W_{eL}^{-0.00352}$$

Air-Electrolyte Solution

$$Sh'' f_w = 0.015424 \bar{R}_{eL}^{0.78626} R_{eG}^{0.43806} S_C^{0.333}$$

الدراسة النظرية تضمنت إنشاء و تطوير موديل رياضي ديناميكي (Flow-Reactor-Catalyst)

(level model) يشتمل تأثير الهيدرودينمك و ديناميكية التفاعل و انتقال الحرارة والكتلة.

يصف الموديل الرياضي توزيع تراكيز المواد المتفاعلة والنواتج على طول المفاعل وداخل

العامل المساعد و توزيع درجات حرارة المواد على طول المفاعل عند ازمان مختلفه لفتح و غلق

معدل جريان السائل في التشغيل الدوري ، ويصف الموديل الرياضي تأثير التشغيل الدوري على

كفاءة اداء المفاعل (نسبة التحول و الانتقائية).

تم تقييم اداء الموديل مقارنة نتائج (نسبة التحول و الانتقائية) مع النتائج العملية الحالية واعطت

التوافق المتوقع من حيث سلوكية الاداء.

Abstract

Experimental and theoretical investigations have been carried out to study the performance of trickle bed reactor under different modes of operation (steady state and unsteady periodic operations; liquid flow modulation). This will contribute to better understanding of factors governing the performance. The effect of key parameters that play predominate role in the performance of trickle bed reactor is studied, namely, superficial gas velocity (0.086-0.25 m/s) and liquid velocity (0.0032-0.025 m/s), reactor pressure (0.1-1 MP), bed temperature (30-140°C) and cycling parameters in periodic operation "cycle period; slow mode and fast mode, and cycle split (0.2, 0.5 and 0.7)".

A laboratory unit was constructed for this purpose where a versatile reactor setup required "high pressure stainless steel reactor of 0.05 m i.d. \times 1.25 m height", in which the hydrodynamic, mass transfer and reaction experiments could be carried out under different modes of operation; transition boundary, pressure drop, dynamic liquid holdup, and liquid - solid mass transfer coefficients were estimated and also the hydrogenation of acetone was performed. Air - water and air - acetone systems were used for hydrodynamic experiments while air - electrolyte solution (mixture of potassium ferri-ferrocyanide and sodium hydroxide) was used for mass transfer experiments.

The results show that for both systems the transition boundary in periodic operation shifts toward much lower average liquid velocity than in steady state operation such as at superficial gas velocity 0.2 m/s, 30°C and 1 MP, the average liquid velocity shifts about 19.6% lower than steady liquid feeding. The mean pressure drop and average dynamic liquid holdup values are lower than those at steady liquid feeding. The average liquid solid mass

transfer drops more significantly than the steady state value at cycle split of 0.7, whereas at 0.5 and 0.2 it enhances than that at the steady state (about 7.2% at superficial gas velocity 0.22m/s, 100°C and 0.5MP at 0.5 cycle split).

Empirical correlations for pressure drop, dynamic liquid holdup and mass transfer coefficients were estimated for steady state operation.

$$\text{Air-Water:- } \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} = 0.9339 R_{e_L}^{1.2415} R_{e_G}^{-1.3235} W_{e_L}^{-0.3096} G_{a_L}^{0.12147} \chi_L^1$$

$$\varepsilon_L = 0.6867 R_{e_L}^{0.5868} R_{e_G}^{-0.7028} \left(G_{a_L} \left(1 + \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} \right) \right)^{-0.1052} W_{e_L}^{-0.0151}$$

$$\text{Air-Acetone:- } \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} = 92.295 R_{e_L}^{-0.1276} R_{e_G}^{-0.5295} W_{e_L}^{0.3165} G_{a_L}^{-0.1682} \chi_L^1$$

$$\varepsilon_L = 14.4497 R_{e_L}^{0.31988} R_{e_G}^{-0.82098} \left(G_{a_L} \left(1 + \frac{\Delta P / H}{\rho_L g} \right) \right)^{0.06192} W_{e_L}^{-0.00352}$$

$$\text{Air-Electrolyte Solution:- } Sh^* f_w = 0.015424 \tilde{R}_{e_L}^{0.78626} R_{e_G}^{0.43806} S_C^{0.333}$$

The performance (conversion and selectivity) of trickle bed reactor enhances under periodic operation at fast mode operation to a maximum value at 0.5 cycle split and 0.0035 m/s time average liquid velocity (conversion 27.232% at 140°C and selectivity 82.616% at 125°C), while it drops to lower steady state value at slow mode of operation.

Dynamic model was developed (flow - reactor - catalyst level model) to study the effect of periodic operation on trickle bed reactor performance and compare with the experimental results. Concentration profile along the reactor and into intra-catalyst dimension for the reactants and products were estimated. The model was solved numerically by finite difference approach with semi implicit solution of the differential equations. The simulated results for unsteady state performance show the expected trends in performance enhancements are as in experimental results with absolute relative error 26.99%.