

ABSTRACT

In recent years, bubble columns with highly viscous liquids are found widespread applications in chemical and biotechnological processes especially in biochemical reactors and pollution treatment. The heat transfer behaviour of bubble columns of highly viscous liquids is different from that of the low viscosity liquids, due to the complex hydrodynamics parameters and their interactions.

The present work reports the results of a comprehensive experimental study on the hydrodynamics and heat transfer behaviour of a bubble column conducted with highly viscous liquids. The experiments were carried out in two semi-batch bubble columns having the same dimensions (0.15 m diameter and 1.5 m height). QVF glass column was used for visualization and hydrodynamics study and Plexiglass column is used for heat transfer study. A perforated plate was used as gas distributor, having 84 holes of 1 mm diameter, and 0.37 % opening area.

Four types of Glycerine having concentrations of 25 %, 50 %, 75 %, and 99.95 %, were used as Newtonian test liquids. On the other hand, four types of Carboxy Methyl Cellulose concentrations of 0.1 %, 0.5 %, 1 %, and 2 %, were used as non-Newtonian test liquids. Air was used as the gas phase with superficial gas velocity range from 0.01 to 0.2 m/s. For all sets of experiments the height of liquid phase was maintained constant at 1.2 m from the gas distributor.

The hydrodynamic parameters such as, total gas holdup, local gas holdup, bubble rise velocity, and bubble diameter were studied with the aid of: -

- 1-Direct visual and optical observations: which were based on visualization photographs and video films analysis, using two computerized digital cameras.
- 2-Computerized Conductivity Probe System (CCPS): in which the probe detects the difference in conductivity of gas and liquid of the two-phase system.

It was observed that with an increase in superficial gas velocity above 0.12 m/s, more complex hydrodynamic behaviour occurred, in which the transition from bubbly to

bubble rise velocity due to coalescence process that appeared in both, Newtonian **non-Newtonian** highly viscous liquids at such high gas velocities.

It was found that the main mechanism of heat transfer in bubble column of highly viscous liquids recognized in the present work under constant-wall-temperature is convective contribution due to a clear circulation phenomenon.

Temperature distributions were measured axially and radially in the Plexiglass column of constant-wall-temperature with the aid of Computerized Temperature Measuring System (CTMS-30 T) of thirty thermocouple sensors connected on-line computer through an interface system. The temperature range was between 30 to 80 °C. For both Newtonian and non-Newtonian liquids, the heat transfer coefficients were found to decrease with increasing liquid viscosity.

Two mathematical models were derived describing the heat convection in bubble columns of highly viscous liquids under constant-wall-temperature, one for Newtonian liquids and the other for non-Newtonian liquids. For each type, the axial liquid velocity distribution was substituted in the energy equation. The partial differential equation with its associated boundary conditions was solved analytically by the method of separation of variables. The resulting models are: -

For Newtonian liquids,

$$h = 0.655 \frac{D \rho C_p}{L} \left[g D \left(U_g - \varepsilon V_{br} \right) \right]^{1/3} \frac{(1 - \theta_m)}{(1 + \theta_m)}$$

while, for non-Newtonian (power-law) liquids,

$$h = 1.67 \left[Re_g Fr_g^{-0.25} \right]^{0.92} \frac{D^{1-n} C_p K (1 - \theta'_m)}{L (1 + \theta'_m)}$$

The predictions of the derived models agree well with the experimental data obtained in the present work at superficial gas velocity range of (0.01-0.12) m/s, with mean deviation of 8 % and 19 % for Newtonian and non-Newtonian model respectively.

نقال الحرارة بواسطة العمل والأداء في الأعمدة الفقاعية

إعداد

خالد عجمي سكر

إشراف

رئيس الباحثين الدكتور: عبد الله عباس كندوش والأستاذ المساعد الدكتور: بلاسم أحمد عبد

الخلاصة

شهد استخدام السوائل عالية اللزوجة في الأعمدة الفقاعية تطوراً ملحوظاً خلال العقد الحالي حيث خدم هذا النوع كثيراً في الصناعات الكيماوية والمفاعلات البايوكيميائية وعمليات معالجة التلوث. ومن دبر بالذكر أن عملية انتقال الحرارة التي تستخدم السوائل عالية اللزوجة تختلف اختلافاً كبيراً عن الأعمدة اعية الشائعة التي تستخدم السوائل واطنه اللزوجة، وهذا الاختلاف جاء نتيجة لتعقيد خواصها الهيدروديناميكية. اخل هذه الخواص فيما بينها في السوائل عالية اللزوجة.

في هذا البحث أجريت دراسة شاملة للخواص الهيدروديناميكية وعملية انتقال الحرارة في الأعمدة الفقاعية اوية على السوائل عالية اللزوجة من خلال بناء منظومة عملية حاوية على عمودين فقاعين بنفس الأبعاد لمر داخلي ٠،١٥ م وارتفاع م ١،٥ م) يعملان بطريقة الوجبات. عمود زجاج QVF يستخدم لدراسة الخواص ايدروديناميكية والعمود الآخر من المادة البيلكس - كلاس والذي يستخدم في منظومة دراسته انتقال الحرارة. تخدم موزع للغاز (Perforated Plate Gas Distributor) حاوي على ٨٤ ثقب قطر الواحد منها هو ١ ملم سبة مساحة عمل الموزع المتاحة هي ٠،٣٧ %.

تم استخدام أربعة تراكيز من مادة الاكلجرين (Glycerine) ذات التصرف النيوتروني وهي ٢٥%، ٥٠%، ٧٥%، ٩٩،٩٥% وكذلك أربعة تراكيز من مادة كاربوكسي- مئ- سيللوز (CMC) ذات التصرف نيوتوني وهي ٠،١% و ٠،٥% و ١% و ٢% كما تم استخدام الهواء كطور غازي وبمعدل سرعة من ٠،٠ م/ثا إلى ٠،٢ م/ثا.

تم دراسة الخواص الهيدروديناميكية في الأعمدة الفقاعية (مئ، المحتوى الحجمي الكلي للغاز، والمحتوى جمعي الموقعي للغاز، سرعة صعود الفقاعة، وقطر الفقاعة) بواسطة استخدام الطرق التالية:-

(باستخدام طرق المراقبة العينية المباشرة (Visualization) والمراقبة والتحليل الإلكتروني للصور الفوتوغرافية والأفلام التي تم استحصاها لجميع التجارب بواسطة نوعين من الكاميرات الرقمية الإلكترونية.

(بواسطة تصنيع مجس إلكتروني Computerized Conductivity Probe System يتحسس فرق التوصيل بين الغاز والسائل يربط مع المنظومة باستخدام الحاسبة الإلكترونية بصورة مباشرة.

ن خلال التجارب العملية وجد بأنه زيادة سرعة الغاز المار بالعمود الفقاعي إذا زادت عن ٠،١٢ م/ثا يحدث تعقيد كبير في الخواص الهيدروديناميكية حيث يتحول النظام من الجريان الفقاعي المنتظم (Bubbly) إلى الجريان

المضطرب (Churn-Turbulent) وفي هذه الحالة تتكون فقاعات كبيرة نتيجة عمليات التكتل الفقاعي ، ويكون
• هذه الفقاعات الكبيرة سرع صعود عالية (high bubble rise velocities)

تم وضع ميكانيكية لتوصيف عملية انتقال الحرارة في هذا النوع من الأعمدة الفقاعية الحاوية على السوائل
ثابتة اللزوجة والتي تعتمد في مبدأها على انتقال الحرارة بواسطة الحمل الناتج عن ظاهرة التدوير
(Circulation Phenomenon) الحاصلة في مثل هذا النوع من الأعمدة الفقاعية ذات الجدار الثابت الحرارة
• (Constant-Wall-Temperature)

تم قياس درجات الحرارة طوليا " وقطريا" في منظومة الانتقال الحراري (Pelxiglass Column) من
للال تصنيع جهاز Interface System تم تصنيعه خصيصا" لتلبية متطلبات الدقة العالية
(Computerized Temperature Measuring System, CTMS-30 T) والحوي على ثلاثين متحسساً
حرارياً" نوع (T) والذي يربط المنظومة العملية بصورة مباشرة إلى الحاسبة الإلكترونية (On-Line) وكانت
عدادات الحرارة T_w بين ٣٠ إلى ٨٠ °م . حيث وجد بأنه معامل انتقال الحرارة لكلا النوعين من السوائل العالية
لزوجة النيوتونية والانيوتونية ، يزداد مع انخفاض لزوجة السائل المستخدم .

وكذلك شملت الدراسة اشتقاق نموذجين رياضيين لتوصيف عملية انتقال الحرارة في الأعمدة الفقاعية
واسطة الحمل والتي تسخن بطريقة الجدار ذو الحرارة الثابتة (Constant-Wall-Temperature) . أحد
نموذجين يوصف انتقال الحرارة في السوائل النيوتونية والآخر للسوائل الانبيوتونية . حيث تم استخدام معادلات
يزرع سرعة السائل الخاصة لكل حالة وتعويضها في معادلة الطاقة ومن ثم حل المعادلات التفاضلية باستخدام
لريقة فصل المتغيرات (separation of variables) عند الظروف الحدية المستخدمة . وكانت المعادلات الناتجة
الآتي: - للسوائل النيوتونية

$$h = 0.655 \frac{D \rho C_p}{L} \left[g D \left(U_g - \varepsilon V_{br} \right) \right]^{1/3} \frac{(1 - \theta_m)}{(1 + \theta_m)}$$

السوائل الانبيوتونية

$$h = 1.67 \left[\text{Re}_g \text{Fr}_g^{-0.25} \right]^{0.92} \frac{D^{1-n} C_p K (1 - \theta'_m)}{L (1 + \theta'_m)}$$

يث وجد ان هنالك تطابق جيد بين النتائج التجريبية والنتائج التي تم الحصول عليها من خلال النماذج الرياضية
تم اشتقاقها نظريا" وبمعدل سرعة للغاز من (٠,٠١ إلى ٠,١٢) م/ثا ، مع متوسط انحراف معياري إحصائي
% للسوائل النيوتونية و ١٩% والسوائل الانبيوتونية .