ISSN: 2594-6153

Avaliação Teórica do Uso de Serpentina Helicoidal na Transferência de Calor de Líquidos não-Newtonianos em Tanques com Agitação

Caio de Moura Silva, Vitor da Silva Rosa

Universidade Santa Cecília – Santos-SP, Brasil

E-mail: caio.smoura@outlook.com

Resumo

Com o crescente aumento da utilização de fluidos não-newtonianos nas industrias alimentícias, bioquímicas, farmacêuticas, petroquímicas dentre outras, surgiu a necessidade de analisar a troca térmica nos tanques equipados com serpentinas helicoidais, onde os fluidos são aquecidos ou até mesmo resfriados, pois implica diretamente na eficiência e no rendimento dos mesmos. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar os últimos artigos publicados em transferência de calor para fluidos não-Newtonianos, com uso de serpentinas helicoidais, visando comparar os resultados obtidos, dando um melhor entendimento técnico. Também agregou entendimentos aos gráficos descrevendo os números de Nusselt (Nu) para os fluidos em estudo, como o carboximetilcelulose (CMC) e expressões para obtenção do Nu. Constatou-se que o coeficiente geral de transferência de calor dos fluidos não newtonianos é menor comparado aos fluidos newtonianos para as mesmas condições ocasionadas devido a viscosidades mais altas dos não newtonianos.

Palavra chave: Tanques, Nusselt, serpentinas helicoidais, não-Newtonianos.

Theoretical Evaluation of the Use of Helical Serpentine in the Heat Transfer of Non-Newtonian Liquids in Stirred Tanks

Abstract

With the growing increase in the use of non-Newtonian fluids in the food, biochemical, pharmaceutical and petrochemical industries, among others, there was a need to analyze the thermal exchange of this equipment, as it directly implies their efficiency and performance. The present work had as main objective to analyze the latest articles published on heat transfer to non-Newtonian fluids, using helical coils, aiming to compare the results obtained, giving a better technical understanding. It also added understandings to the graphs describing the Nusselt (Nu) numbers for the fluids under study, such as carboxymethylcellulose (CMC) and expressions for obtaining the Nu. It was found that the general heat transfer coefficient of non-Newtonian fluids is lower compared to Newtonian fluids for the same conditions caused due to higher viscosities of non-Newtonians.

Key word: Tanks, Nusselt, helical coils, non-Newtonians.

Introdução

Os fluidos não Newtonianos têm grande aplicação em diversos setores, dentre eles químicos, biológicos, petroquímicos, mecânica com utilização peculiar nas indústrias de processamento tais como, alimentar, plásticos, tratamento de rejeitos e resíduos dentre outras.

Os tanques possuem geralmente formato cilíndrico com impulsores mecânicos e chicanas para impedir a formação de vórtices melhorando a qualidade do processo. A maioria das operações necessita de algum tipo de aquecimento ou resfriamento, feitos em bateladas ou em superfícies de transferência de calor, tais como as serpentinas helicoidais [1].

As serpentinas helicoidais são encontradas na lateral do tanque, tento como principal desvantagem a sua limpeza, devido a seu posicionamento dentro do mesmo podendo gerar acúmulos de substâncias ao redor de sua superfície, entre tanto, quando utilizado um impulsor radial sua eficiência de troca térmica chega a se torna uma das melhores em relação à serpentina axial por exemplo.

Objetivo

O presente estudo tem como objetivo avaliar os artigos publicados em transferência de calor de líquidos não newtonianos em tanques com uso de serpentina espiral.

Resultados e discussão

O coeficiente global de transmissão de calor, U, é determinado a partir da área de troca térmica. Em qualquer trocador de calor têm-se o parâmetro de desempenho de troca térmica (U), relacionada com a geometria de sua superfície.

Segundo T.A. Pimenta, J.B.L.M. Campos et al. 2013 [2], o números Nusselt das soluções de fluido com comportamento elástico, são significativamente menores do que as soluções newtonianas já nas soluções CMC (cisalhamento de fluidos de diluição com baixo componente elástico) foram ligeiramente maiores do que os fluidos newtonianos para o mesmo. O número de Nusselt foi obtido com a seguinte expressão [4]:

$$Nu = \frac{8(5n+1)(3n+1)}{31n^2 + 12n + 1} \qquad [I]$$

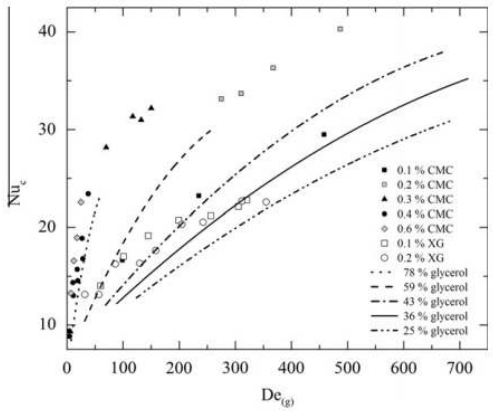

Figura 1. Número de Nusselt (Nuc) vs. número de Dean para Fluidos não newtonianos [2].

ISSN: 2594-6153

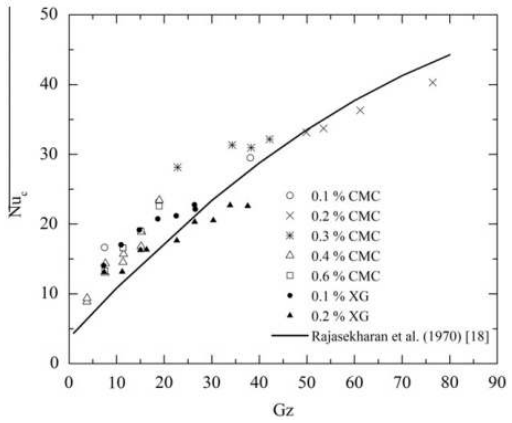

Figura 2. Experimentos (CMC e XG) - comparação entre dados experimentais e resultados de Rajasekharan [6].

Observa-se na figura 1 o gráfico dos experimentos de fluidos CMC e XG - comparação entre dados experimentais e resultados obtidos a partir da correlação para soluções de glicerol.

Nota-se na figura 2 o gráfico dos resultados experimentais do número de Nusselt como uma função do número de Graetz (inclui o produto entre os números de Reynolds e Prandtl), obtido com as soluções aquosas de CMC e XG. Os dados das soluções CMC do presente estudo são ligeiramente superiores, para o mesmo número de Graetz, comparados com a de Rajasekharan [6]. No entanto, a funcionalidade é muito semelhante, ou seja, o número de Graetz parece ser o correto e único, número adimensional que afeta o número de Nusselt para cisalhamento fluidos de diluição (os números geométricos não estão em estudo). Os dados experimentais para solução XG 0,2% são menores, para o mesmo Graetz número e parece seguir uma correlação diferente, ou seja, mais uma vez, o componente elástico parece afetar o coeficiente de transferência de calor.

O estudo de S.S. Pawar , Vivek K. Sunnapwar et al. 2013 [3], a partir dos resultados dos experimentos, observou-se que o coeficiente geral de transferência de calor de fluidos não newtonianos é menor do que fluidos newtonianos para as mesmas condições isso é devido a viscosidades mais altas dos fluidos não newtonianos comparados aos Newtonianos. O fluido de alta viscosidade forma uma parede mais espessa na camada limite, isso aumenta a resistência térmica que reduz coeficiente de transferência de calor interno e, subsequentemente, coeficiente de transferência de calor geral. Um coeficiente de transferência de calor médio para solução de Alginato de Sódio foi encontrado ser maior do que CMC em solução para as mesmas condições experimentais. A determinação do coeficiente geral de transferência de calor é uma etapa importante para calcular a área de superfície necessária para o calor do processo de transferência no projeto de trocadores de calor helicoidais.

Os números de Nusselt para 0,5% e 1% de alginato de sódio são maiores do que as soluções CMC com o mesmo conteúdo em água sob condições isotérmicas e condições não isotérmicas. Além disso, o aumento na porcentagem de não newtonianos na água diminuem os coeficientes de transferência de calor conforme a viscosidade da mistura aumenta. Em condição isotérmica, os coeficientes de transferência de calor são maiores do que a condição não isotérmica para o mesmo tipo de fluidos por causa da diferença de temperatura no experimento.

S.S. Pawar obteve o número de Nusselt com a expressão:

$Nu = 0{,}0472De^{0{,}8346}.Pr^{0{,}4}$ [II]

Onde: Nu = número de Nusselt; Re = número de Reynold; Pr = número de Prandtl.

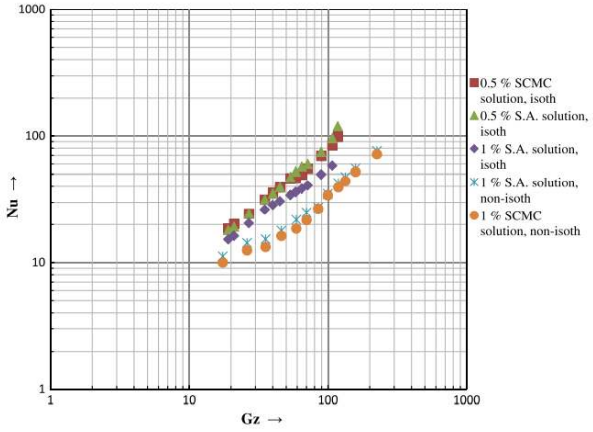

Figura 3. Comparação dos números de Nusselt vs. Gz números para fluidos não newtonianos sob condições isotermicas.

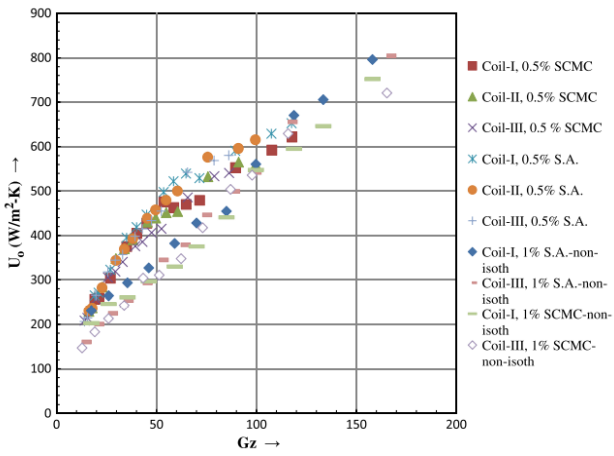

Figura 4. Comparação dos coeficientes gerais de transferência de calor para fluidos não newtonianos como uma função do número Gz sob condições isotérmicas e não isotérmicas.

Na figura 3 pode-se ver no gráfico que os números de Nusselt para 0,5% e 1% de alginato de sódio são maiores do que Soluções SCMC com o mesmo conteúdo em água sob condições isotérmicas e condições não isotérmicas. Além disso, aumento na porcentagem de não newtonianos na água diminuem os coeficientes de transferência de calor conforme a viscosidade da mistura aumenta. Em condição isotérmica, os coeficientes de transferência de calor são maiores do que a condição não isotérmica para o mesmo tipo de fluidos, isso ocorre devido a diferença de temperatura no início do experimento.

Na figura 4 observa-se no gráfico a comparação do coeficiente geral de transferência de calor de três bobinas para fluidos não newtonianos em regime isotérmico estado bem como

condições de estado instável não isotérmicas. O estudo de Shaukat Ali et al. 2001 [5], a fluidos não newtonianos mostra que para o fluxo laminar existem dois regimes com um número de Reynolds generalizado crítico de 500 (De (g)> 80).

Conclusão

Tendo em vistas a analises feitas, pode se concluir:

a) O coeficiente geral de transferência de calor é maior para menores diâmetros das hélices dos impulsores mecânicos, devido ao efeito significativo da força centrífuga no fluxo secundário nas serpentinas.

b) Os números de Nusselt das soluções CMC são ligeiramente mais elevados comparados aos fluidos newtonianos para o mesmo Prandtl (Pr).

c) O número de Nusselt para soluções de fluido com comportamento elástico são significativamente menores comparadas as soluções newtonianas.

d) O coeficiente de transferência de calor aumenta para todos os fluidos não newtonianos conforme o número de Graetz aumenta.

As correlações dos pesquisadores anteriores são comparadas e consideradas em boa concordância.

Referências

1. Rosa, VS, Transferência de calor e scale-up de tanques com impulsores em operação com fluidos não newtonianos. 2017: 2.
2. Pimenta T.A., Campos J.B.L.M., *Heat transfer coefficients from Newtonian and non-Newtonian fluids flowing in laminar regime in a helical coil.* 2013: 685-690.
3. S.S. Pawar, Vivek K. Sunnapwar, *Experimental studies on heat transfer to Newtonian and non-Newtonian fluids in helical coils with laminar and turbulent flow. 2013*: 802-803.
4. Ansar SK Ali, Pardeep Kr and Sandeep Kr, *Experimental studies of helical coils in laminar regime for mechanically agitated vessel,* 2019: 685-690.
5. Shaukat A, *Pressure drop correlations for ow through regular helical coil tubes.* 2001: 308.
6. S. Rajasekharan, V. Kubair, N.R. Kuloor, *Secondary flow of non-Newtonian fluids in helical coils, Ind. J. Technol*. 1966: 33–35.