Unisanta Science and Technology, **2013, 6, December**
Published Online 2013 Vol.2 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Comparação entre coeficientes da equação de *Sieder-Tate* para transferência de calor via chicana tubular em tanques com impulsores axiais e radiais

Marcilio Dias Lopes[1]; Carlos Alberto Amaral Moino[1]; Vitor da Silva Rosa[2] ; Anna Caroline Rocha Garcia Silva[1]; Deovaldo de Moraes Jr[1].

[1]UNISANTA –Universidade Santa Cecília –Departamento de Pós-Graduação, Santos- SP, Brasil
Programa de Pós-Graduação – Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Santa Cecília.
[2]Universidade Federal do ABC, Santo André – São Paulo - BR
E-mail: *marciliolopes@uniparcarbocloro.com.br*
Received august, 2013

Resumo

Tanques dotados de impulsores mecânicos com sistemas para troca de calor são comumente empregados na indústria química e petroquímica. Pode-se usar como superfícies de transmissão de calor chicanas tubulares verticais. Este estudo teve por objetivo comparar os coeficientes da equação de *Sieder-Tate* encontrados na literatura com os resultados obtidos experimentalmente. A unidade experimental consistiu de um tanque de 50 L, impulsores axial e radial e chicana tubular vertical de cobre. Utilizou-se água como fluido aquecedor, com vazão de 1,8 L/min e temperatura de 62°C na entrada, e como fluido frio também foi usado água com vazão de 1,0 L/min e temperatura na faixa de 29 a 45°C na entrada. Obteve-se nos experimentos para operação continua com chicanas tubular e impulsor tipo hélice com 4 pás em 45° as constantes "k" de 0,129, "a" de 0,797, "b" de 0,3 e "c" de 0,14. Com o impulsor tipo turbina com 6 pás planas as constantes foram "k" de 0,124, "a" de 0,843, "b" de 0,3 e "c" de 0,14.

Palavras chave: Chicana tubular vertical, equação de Sieder Tate, impulsor axial e radial.

Comparative between coefficients Sieder-Tate equation for heat transfer through tubular baffle

Abstract

Tanks equipped with mechanical impellers for heat exchange systems are commonly used in chemical and petrochemical industry. Can be used as heat transfer surfaces the vertical tubular baffles. This study aimed to compare the coefficients of the equation Sieder-Tate found in the literature with the results obtained experimentally. The experimental unit consisted of a 50 L tank, axial impellers and radial and baffle vertical tubular copper. Water was used as the fluid heater, at a flow rate of 1.8 L / min and 62 ° C at the inlet and the cold fluid such as water also was used with a flow rate of 1.0 L / min and temperature in the range of 29 to 45 ° C at the entrance. Obtained operation continues for the experiments with baffles and tube type impeller with 4 blade propeller at 45 ° constants "k" to 0.129 "to" 0.794, "B" and 0.3 "c" 0.14. With the turbine with 6 flat blade type impeller constants were "k" to 0.124 "a" of 0.843, "B" and 0.3 "c" of 0.14.

Keywords: Vertical tubular baffles, equation Sieder Tate, axial and radial impeller.

Copyright © 2013 ISESC.

1. Introdução

De acordo com Nassar e Mehtroa (2011), os processos de transferência de calor associados com agitação e mistura, são usados em indústrias alimentícias, petroquímicas, química, mineral, farmacêutica e usinas geradoras de energia. Segundo Coker (2007), as superfícies de transmissão de calor mais comuns usadas nos tanques com impulsores mecânicos são as jaquetas, as serpentinas helicoidais e as chicanas tubulares.

As chicanas tubulares possuem uma vantagem adicional em relação as jaquetas e serpentinas, a qual é a eliminação do vórtice enquanto a transferência de calor é promovida. Entretanto, a desvantagem é a carência de dados de projeto para operação continua. Os coeficientes da equação de Sieder-Tate, fornecidos pela literatura em sua maioria foram obtidos com ensaios em batelada (LOPES, 2013).

O trabalho teve por objetivo comparar coeficientes da equação de Sieder-Tate encontrados na literatura com os resultados obtidos experimentalmente para as chicanas tubulares.

2. Material e métodos

2.1 Fundamentação teórica

O fluxo total de calor foi calculado a partir dos dados do fluido quente, aplicados na 2ª Lei da Termodinâmica, e o coeficiente global de troca térmica através da equação de Fourier. Com o coeficiente global de troca térmica pode-se determinar os coeficientes de película interno e externo usando a Equação 1.

$$h_o = \frac{U.h_{io}}{h_{io} - U} \qquad (1)$$

Sendo, U o coeficiente global de troca térmica (kcal/h.m^2.ºC); h_{io} o coeficiente de película interno de transferência de calor corrigido para o diâmetro externo (kcal/h.m^2.ºC); h_o o coeficiente de película externo de transferência de calor (kcal/h.m^2.ºC).

O coeficiente de película interno para água de 4 a 105°C é comumente calculado pela Equação 2.

$$h_i = 1229.(1 + 0{,}0146.T_m).\frac{v_m^{0,8}}{D_I^{0,2}} \qquad (2)$$

Em que, h_i é o coeficiente de película interno de transferência de calor (kcal/h.m^2.ºC); T_m, a temperatura média do fluido quente (ºC); v_m, a velocidade média na chicana (m/s); D_I, o diâmetro interno da tubulação (m).

O coeficiente de película externo (h_o) é calculado através da Equação 3 de *Sieder-Tate*, entretanto, é necessário determinar os expoentes *a*, *b* e *c* e a constante *K* para a construção do modelo semi-empírico para as condições do trabalho

$$Nu = K.(Re)^a.(Pr)^b.(Vi)^c \qquad (3)$$

Sendo, Nu, o número de Nusselt; Re, o número de Reynolds; Pr, o número de Prandtl; Vi, a correlação entre densidades; *K*, a constante de proporcionalidade; *a*, *b* e *c*, os expoentes.

A equação de *Sieder-Tate* pode ser escrita da seguinte maneira (Equação 4):

$$\frac{(h_o.D_t)}{k_f} = K.\left(\frac{(D_{imp})^2.N.\rho_f}{\mu_f}\right)^a.\left(\frac{cp_f.\mu_f}{k_f}\right)^b.\left(\frac{\mu_f}{\mu_w}\right)^c \qquad (4)$$

Sendo, D_t o diâmetro interno do tanque (m); k_f a condutividade térmica do fluido frio (kcal/h.m.ºC); D_{imp} o diâmetro do impelidor (m); N a rotação do impelidor (rps); ρ_f a densidade do fluido frio (kg/m^3); μ_f a viscosidade dinâmica do fluido frio (kg/m.s); cp_f o calor especifico do fluido frio (kcal/kgºC); μ_w a viscosidade dinâmica do fluido frio na temperatura da parede (Kg/m.s).

Os adimensionais Nusselt, Prandtl e a relação entre viscosidades da Equação 3 podem ser agrupados pelo adimensional jH que é o fator de transmissão de calor, gerando a Equação 5 que é exponencial e é linearizada aplicando-se logaritmo nos dois lados da sentença.

$$jH = K.(Re)^a \qquad (5)$$

2.2 Material

A unidade experimental foi composta por um tanque cilíndrico com volume útil de 50 L; impulsor mecânico radial tipo turbina, com 6 pás planas e axial tipo hélice com 4 pás inclinadas em 45º, ambos com diâmetro de 13,2 mm, motor de 3,0 hp ,inversor de frequência, chicana tubular de cobre de ½" de diâmetro e comprimento de 5,53 m, banho termostatizado e dois trocadores de calor de 2.000W e 5.000W. A Figura 1 apresenta o esboço da unidade experimental.

2.3 Método

O tanque de processo foi alimentado com 1,0 L/min de água tendo sua vazão acompanhada por rotâmetro e temperatura regulada por trocador de calor, sendo posteriormente descartada do processo pela válvula de fundo do tanque. O fluido quente passava por um banho termostatizado para manter constante a temperatura de 62ºC, e alimentava a chicana com vazão 1,8 L/min mensurada por rotâmetro, após sair do tanque de processo, passou pelo trocador de calor antes de retornar ao banho termostatizado.

Copyright © 2013 IESC.
Unisanta Science and Technology (74-78) p.p. ISSN 2317-1316

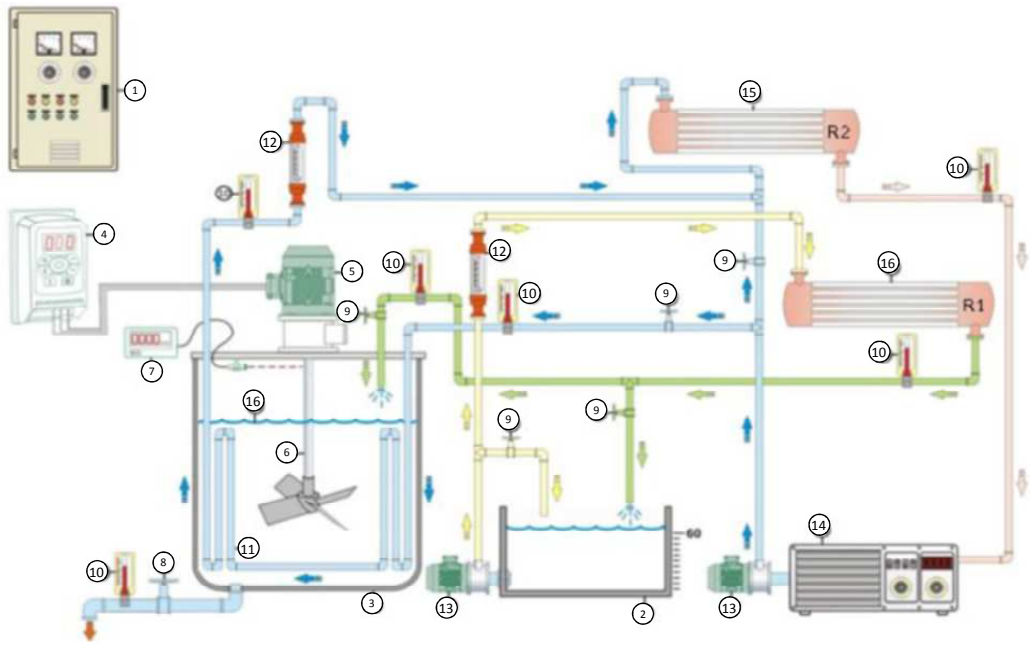

Figura 1 - Esboço da unidade experimental. 1) painel de controle dos trocadores de calor e bombas; 2) tanque pulmão; 3) tanque cilíndrico; 4) inversor de frequência; 5) motor elétrico; 6) impulsor; 7) tacômetro; 8) válvula de saída do tanque; 9) válvulas de bloqueio; 10) termômetros; 11) chicana tubular; 12) rotâmetros; 13) bombas centrífuga; 14) banho termostatizado; 15) e 16) trocadores de calor.

As leituras das temperaturas de saída de ambos os fluídos foram tomadas a cada 2 minutos e a duração de cada experimento foi de 50 minutos. A temperatura do fluido frio variou de 2°C em cada experimento no intervalo de 29 a 45°C, enquanto que a rotação do impulsor variou no intervalo de 90 a 330 rpm.

3. Resultados e Discussões

Na Tabela 1 estão apresentados os adimensionais Nusselt, Prandtl, Reynolds e relação das viscosidades e o coeficiente de película externa (h_o) calculados a partir das temperaturas obtidas nos experimentos.

Tabela 1 - Resultados obtidos nos ensaios.

Experimento	h_o [kcal/m².h.°C]	Nu	Pr	Re	Vi	jH	Log Re	Log jH	Experimento	h_o [kcal/m².h.°C]	Nu	Pr	Re	Vi	jH	Log Re	Log jH
1	1.289	935	4,52	37.697	1,36	569	4,58	2,76	1	2.080	1.507	4,49	37.930	1,35	921	4,58	2,96
2	1.628	1.177	4,38	51.769	1,32	726	4,71	2,86	2	2.311	1.670	4,36	51.942	1,32	1033	4,72	3,01
3	1.918	1.383	4,24	66.500	1,29	864	4,82	2,94	3	3.789	2.730	4,23	66.760	1,29	1710	4,82	3,23
4	2.412	1.734	4,12	81.959	1,27	1097	4,91	3,04	4	3.032	2.179	4,11	82.053	1,26	1380	4,91	3,14
5	2.893	2.074	4,00	98.081	1,24	1328	4,99	3,12	5	4.760	3.412	4,00	98.224	1,24	2186	4,99	3,34
6	3.169	2.266	3,89	114.865	1,21	1466	5,06	3,17	6	5.764	4.121	3,89	115.011	1,21	2669	5,06	3,43
7	3.478	2.481	3,79	132.358	1,19	1623	5,12	3,21	7	6.455	4.603	3,79	132.488	1,19	3013	5,12	3,48
8	3.498	2.489	3,69	150.541	1,17	1645	5,18	3,22	8	5.215	3.709	3,69	150.633	1,17	2453	5,18	3,39
9	3.802	2.698	3,60	169.472	1,15	1802	5,23	3,26	9	6.274	4.452	3,60	169.562	1,15	2975	5,23	3,47

Copyright © 2013 ISESC. *Unisanta Science and Technology* **(74-78) p.p. ISSN 2317-1316**

Para o ensaio com impulsor axial do tipo hélice, com 4 pás inclinadas em 45º em relação à base do tanque e chicana tubular, foi obtida a Equação 6.

$$Nu = 0{,}129.(Re)^{0{,}797}.(Pr)^{0{,}3}.(Vi)^{0{,}14} \quad (6)$$

Com impulsor radial do tipo turbina, com 6 pás planas, perpendiculares à base do tanque e chicana tubular, obteve-se a Equação 7.

$$Nu = 0{,}124.(Re)^{0{,}843}.(Pr)^{0{,}3}.(Vi)^{0{,}14} \quad (7)$$

Na tabela 2, estão apresentados os diversos valores das constantes da equação de *Sieder-Tate* para o cálculo do coeficiente de película externo em chicanas tubulares verticais, obtidos por diversos pesquisadores.

O coeficiente K varia de 0,048 a 17,880. Os valores experimentais foram de 0,129 e 0,124. O expoente "a" se encontra no range de 0,2690 a 0,675, experimentalmente os valores foram de 0,797 e 0,843.

Os expoentes "b" e "c" foram arbitrados, porém se mantem em quase todos os estudos o "b" em 0,333 e o "c" em 0,140.

Tabela 2 – Coeficientes da equação de *Sieder-Tate*.

Impelidor	Reynolds	*k*	*a*	*b*	*c*	Autor
3 pás inclinadas		0,513	0,670	0,333	0,140	Karcz e Strek *apud* Dóstal *et al* (2010)
4 pás retas	> 100	0,060	0,650	0,300	0,420	Dunlap e Rushton *apud* Penney e Atiemo-Obeng (2004)
6 pás retas	3.000 - 500.000	0,126	0,667	0,400	0,160	Havas *et al* (1982)
6 pás retas	300.000 - 500.000	0,291	0,667	0,400	0,160	Havas *et al* (1983)
Hélice		0,494	0,670	0,333	0,140	Karcz *apud* Dóstal *et al* (2010)
Hélice		0,640	0,670	0,333	0,140	Karcz *apud* Dóstal *et al* (2010)
Hélice		0,494	0,670	0,333	0,140	Karcz e Strek *apud* Dóstal *et al* (2010)
Impulsor contracorrente	200 - 18.400	0,048	0,667	0,333	0,167	Kai e Shengyao (1989)
Impulsor contracorrente	200 - 18.400	0,450	0,667	0,333	0,167	Kai e Shengyao (1989)
Turbina de 3 pás inclinadas a 45°		0,494	0,670	0,333	0,140	Lukes apud Dóstal *et al* (2010)
Turbina de 3 pás inclinadas a 45°		0,542	0,658	0,333	0,140	Lukes *apud* Dóstal *et al* (2010)
Turbina de 4 pás planas	1.300 - 2.000.000	0,090	0,650	0,300	0,400	Dunlap e Rushton *apud* Mohan et al (1992)
Turbina de 6 pás	> 100	0,021	0,670	0,400	0,270	Gentry e Small *apud* Penney e Atiemo-Obeng (2004)
Turbina de 6 pás inclinadas a 45°	19.000 - 112.000	0,540	0,675	0,330	0,140	Dóstal *et al* (2010)
Turbina de 6 pás inclinadas a 45°		0,571	0,670	0,333	0,140	Dóstal *et al* (2010)
Turbina de 6 pás inclinadas a 45°		0,750	0,670	0,333	0,140	Karcz *apud* Dóstal *et al* (2010)
Turbina de 4 pás inclinadas a 45°	6.000-90.000	17,880	0,269	0,286	0,365	Rosa *et al* (2013)
4 pás inclinada a 45°	37000 -170000	0,129	0,797	0,300	0,140	Lopes (2013)
Turbina de 6 pás planas	37000 -170000	0,124	0,843	0,300	0,140	Lopes (2013)

Copyright © 2013 ISESC.

Os estudos encontrados em literatura foram realizados em batelada, já o experimental foi realizado em processo continuo.

4. Conclusão

Comparando os valores encontrados na literatura com os valores experimentais pode-se afirmar que estão dentro da faixa, considerando que os estudos anteriores foram em batelada e o da unidade experimental foi realizado em processo continuo.

5. Referências bibliográficas

COKER, A. K. Ludwig's **Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants**, 4th edition, Burlington, MA, Gulf Professional Publishing, 2007.

DOSTÁL, M.; PETERA, K.; RIEGER, F. **Measurement of Heat Transfer Coefficients in an Agitated Vessel With Tube Baffles**, Acta Polytechnica, Volume 50, No 2, 2010.

HAVAS, G.; DEÁK, A.; SAWINSKY, J. **Heat Transfer Coefficients in an Agitated Vessels Using Vertical Tube Baffles**, Chemical Engineering Journal, No 23, Elsevier Sequoia S.A., 1982.

KAI, W.; SHENGYAO, Y. **Heat Transfer and Power Consumption of Non-Newtonian Fluids in Agitated Vessels,** Chemical Engineering Science, Volume 44, No 1, 1989.

LOPES, M. D. **Comparação Experimental da Troca Térmica entre Tanque com Serpentina Helicoidal e com Chicana Tubular para Impelidor Radial e Axial**, Santos, SP, UNISANTA, (trab. mestrado), 2013.

MOHAN, P.; EMERY. A. N.; AL-HASSAN, T. Heat **Transfer to Newtonian Fluids in Mechanically Agitated Vessels, Experimental Thermal and Fluid Science**, USA, Elsevier Science Co., 1992.

NASSAR, N. N.; MEHROTRA, A. K. **Design of a Laboratory Experiment on Heat Transfer in an Agitated Vessel,** Education for Chemical Engineers, Volume 6, 2011.

PENNEY, W. R.; ATIEMO-OBENG, V. A. **Heat Transfer**. In: PAUL, E. L.; ATIEMO-OBENG, V. A.; KRESTA, S. M. Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice, John Wiley & Sons, 2004.

ROSA, V. S. et al **External Coefficient of Heat Transfer by Convection in Mixed Vessels Using Vertical Tube Baffles**, Industrial & Engineering Chemistry Research, Volume 52, 2013.

Copyright © 2013 ISESC. *Unisanta Science and Technology* **(74-78) p.p. ISSN 2317-1316**