Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького
Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S.Z. Gzhytskyj

doi:10.15421/nvlvet6802

ISSN 2413–5550 print
ISSN 2518–1327 online

http://nvlvet.com.ua/

УДК 664.002.5(075)

Вплив коефіцієнта поверхневого натягу рідкого теплоносія на середню товщину приграничного ламінарного шару в рекуперативних теплообмінниках

Ю.Л. Білонога[1], О.Р. Максисько[1], Д.М. Білонога[2], С.В. Приходська[3]
yuriy_bilonoha@ukr.net

[1]Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького, вул. Пекарська, 50, м. Львів, 79010, Україна;
[2] Львівський національний університет «Львівська політехніка» вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна;
[3] Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна

В процесах теплообміну визначальними є гідромеханічні характеристики потоків теплоносіїв, а саме їхні режими руху. В рекуперативних теплообмінниках загальний тепловий опір системи на 95% концентрується в пристінній області потоків теплоносіїв – в ламінарному при поверхневому шарі (ЛПШ). В існуючих рівняннях для розрахунку середніх товщин ЛПШ не враховуються поверхневі характеристики рідкофазних теплоносіїв (коефіцієнта поверхневого натягу та гідрофільності поверхні змочування). Зроблено силовий аналіз елементарного об'єму рідини в ЛПШ і встановлено пріоритетну дію сил поверхневого натягу та сил тиску. Виведена формула для розрахунку середньої товщини ЛПШ з врахуванням цих сил та коефіцієнта турбулізації K_T та співвідношення Дарсі–Вейсбаха. Одержана формула містить коефіцієнти поверхневого натягу, динамічної в'язкості та густину рідкого теплоносія, гідрофільність поверхні змочування внутрішньої рекуперативної стінки, довжину та діаметр труб, числа Рейнольдса та Дарсі, коефіцієнт турбулізації потоку.

Запропоновано зменшувати середню товщину ЛПШ шляхом додавання до потоків теплоносіїв оптимальних концентрацій поверхнево–активних речовин (ПАР). Показано, що за додавання оптимальних концентрацій аніонактивних, неіоногенних та катіонактивних ПАР середня товщина ЛПШ зменшується в межах до 30%.

Ключові слова: *рекуперативна апаратура, теплоносій, турбулентний режим, поверхневий натяг, приграничний ламінарний шар, середня товщина приграничного ламінарного шару, число Рейнольдса, поверхнево–активні речовини.*

Влияние коэффициента поверхностного натяжения жидких теплоносителей на среднюю толщину пограничного ламинарного слоя в рекуперативных теплообменниках

Ю.Л. Билонога[1], О.Р. Максысько[1], С.В. Приходская[2], Д.М. Билонога[3]
yuriy_bilonoha@ukr.net

[1]Львовский национальный университет ветеринарной медицины и биотехнологий имени С.З. Гжицкого, ул. Пекарская, 50, г. Львов, 79010, Украина;
[2] Львовский национальный университет «Львовская политехника», ул. Степана Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина;
[3] Львовский национальный университет имени Ивана Франко, г. Львов, Украина ул. Грушевского, 4, г. Львов, 79005, Украина

Citation:
Bilonoha, Y.L., Maksysko, O.R., Bilonoha, D.M., Prykhodska, S.V. (2016). Influence the surface tension of the heat transfer fluid on average thickness of the boundary laminar layer in recuperative heat exchanger. *Scientific Messenger LNUVMBT named after S.Z. Gzhytskyj*, 18, 2(68), 7–10.

В процессах теплообмена определяющими являются гидромеханические характеристики потоков теплоносителей, а именно режимы их движения. В рекуперативных теплообменниках общее тепловое сопротивление системы на 95% концентрируется в пристенной области потоков теплоносителей – в ламинарном приповерхностном слое (ЛПС). В существующих уравнениях для расчета средних толщин ЛПС не учитываются поверхностные характеристики жидкофазного теплоносителей (коэффициента поверхностного натяжения и гидрофильности поверхности смачивания). Сделано силовой анализ элементарного объема жидкости в ЛПС и установлено приоритетное действие сил поверхностного натяжения и сил давления. Выведена формула для расчета средней толщины ЛПС с учетом этих сил и коэффициента турбулизации K_T и соотношения Дарси–Вейсбаха. Полученная формула содержит коэффициенты поверхностного натяжения, динамической вязкости и плотности жидкого теплоносителя, гидрофильность поверхности смачивания внутренней рекуперативной стенки, длину и диаметр труб, числа Рейнольдса и Дарси, коэффициент турбулизации потока.

Предложено уменьшать среднюю толщину ЛПС путем добавления к потокам теплоносителей оптимальных концентраций поверхностно–активных веществ (ПАВ). Показано, что при добавлении оптимальных концентраций анионактивных, неионогенных и катионактивных ПАР средняя толщина ЛПС уменьшается в пределах до 30%.

***Ключевые слова**: рекуперативная аппаратура, теплоноситель, турбулентный режим, поверхностное натяжение, пограничный ламинарный слой, средняя толщина пограничного ламинарного слоя, число Рейнольдса, поверхностно–активные вещества*

Influence the surface tension of the heat transfer fluid on average thickness of the boundary laminar layer in recuperative heat exchanger

Y.L. Bilonoha[1], O.R. Maksysko[1], D.M. Bilonoha[2], S.V. Prykhodska[3]
yuriy_bilonoha@ukr.net

[1]Lviv national university of veterinary medicine and biotechnologies named after S. Gzhytskyj, Pekarska Str., 50, Lviv, 79010, Ukraine;
[2] Lviv National Polytechnic University «Lviv Polytechnic», Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79013, Ukraine;
[3] Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskogo Str., 4, Lviv 79005, Ukraine

In the process of heat transfer is crucial hydromechanical fluids flow characteristics, such as their modes of motion. In recuperative heat exchangers total thermal resistance of the system by 95% concentrated in the near–wall region flows of fluids – at a laminar boundary layer (LBL). The existing equations to calculate the average thickness LBL not captured surface characteristics coolant liquid phase (the surface tension and hydrophilic surface wetting). Made power analysis elementary volume of fluid in LBL and established a priority action of surface tension forces and pressure forces. Formulas to calculate the average thickness LBL with regard to these forces and turbulence factor and K_T ratio Darcy–Veysbaha. The resulting formula contains coefficients of surface tension, dynamic viscosity and density of the liquid coolant hydrophilic surface wetting recuperative inner wall, the length and diameter of the pipe, the Reynolds number and Darcy, coefficient turbulence flow.

Reduced average thickness LBL by add to the flow of fluids optimal concentration of surfactants active substances (SAS). Shown that the addition of optimal concentrations anion active, nonionic surfactants and kation active average thickness LBL is reduced within 30%.

***Key words:** regenerative equipment , heat transfer agent, turbulent mode, surface tension, laminar boundary layer, the average thickness of the laminar boundary layer, Reynolds number, surfactants*

Introduction

It is known that the hydromechanical flow characteristics of the coolant liquid phase is crucial for the passage of heat exchange system, coolant pipe wall. To work effectively heat exchange equipment needed to move fluids carried in the turbulent mode. However, the near–wall region of the pipeline there is laminar boundary layer (LBL). Average thickness of the LBL is determining the passage of heat in the regenerative heat exchange equipment

It is known that thermal resistance (LBL) is about (95 98)% of the total thermal resistance in the heat exchangern. There are a number of works devoted to the problem of reducing the average thickness (LBL) (Matushkin, 1998; Anipko and Gorbunov, 2001).

The average thickness of this layer δ (see Figure 1) can be calculated with the equation (1) (Uginchus, 1970:

$$\delta = \frac{30d}{\sqrt{\xi}\,\mathrm{Re}} \qquad (1)$$

where d – pipe diameter, m; ξ – hydraulic friction coefficient (Darcy coefficient), Re – Reynolds number.

The equation (1) corresponds to the laws of fluid mechanics, taking into account the processes that occur in the pipe at the boundary between two media (pipe wall – fluid flows). However, this approach, in our opinion, does not take into account certain physical characteristics of the fluids related to the interaction of surfaces of the two phases (solid – liquid) (S–L).

The amount of the liquid refrigerant surface tension is responsible for the interaction surfaces of the heat exchanger wall and the heat transfer fluid. Therefore, we offer a formula to calculate the average thickness LBL considering the surface tension of liquid coolants.

Material and methods

We used numerical methods for calculating the average thickness of the LBL, considering the surface tension of liquid coolants. The surface tension of liquid coolants determined by the classical method Rebinder.

Results and discussion

Elemental volume of fluid in the LBL are under the influence of forces (Figure 1): *mg* – the gravity force; *ma* – the inertia force; *P* – pressure force; T_f – the force of friction between elementary layers of fluid; F_σ – the power of surface tension of the fluid. At the interface of liquid–wall pipe there is a strong field force of surface tension, which changes the flow of fluid to form LBL. Forces of friction, inertia and gravity in the system are negligible [4].

Consider the pressure force and surface tension force in LBL acting on the elementary ring of liquid (Figure 1): – elementary ring area: $dS = 2\pi r dr$; – the pressure force acting in LBL on the elementary ring: $dP = \Delta P 2\pi r dr$; – the force of surface tension acting on LBL elementary ring: $dF_\sigma = 2\pi\sigma\cos\theta d\delta$;

Integrating of equation, introducing fixed values as a sign of integration and replacement r to δ were carried out. The physical meaning of integration and the change in the system is that LBL summed up around the «area of passage» pipeline. Then we have a limiting case, that limits transition flow from L to T mode where δ is the thickness LBL flow radius $r = \frac{d}{2}$; (see Figure 1).

$$P = \Delta P 2\pi \int_0^{\delta} r dr = \pi \Delta P \delta^2; \quad dF_\sigma = 2\pi\sigma\cos\theta \int_0^{r} d\delta = 2\pi\sigma\cos\theta r;$$

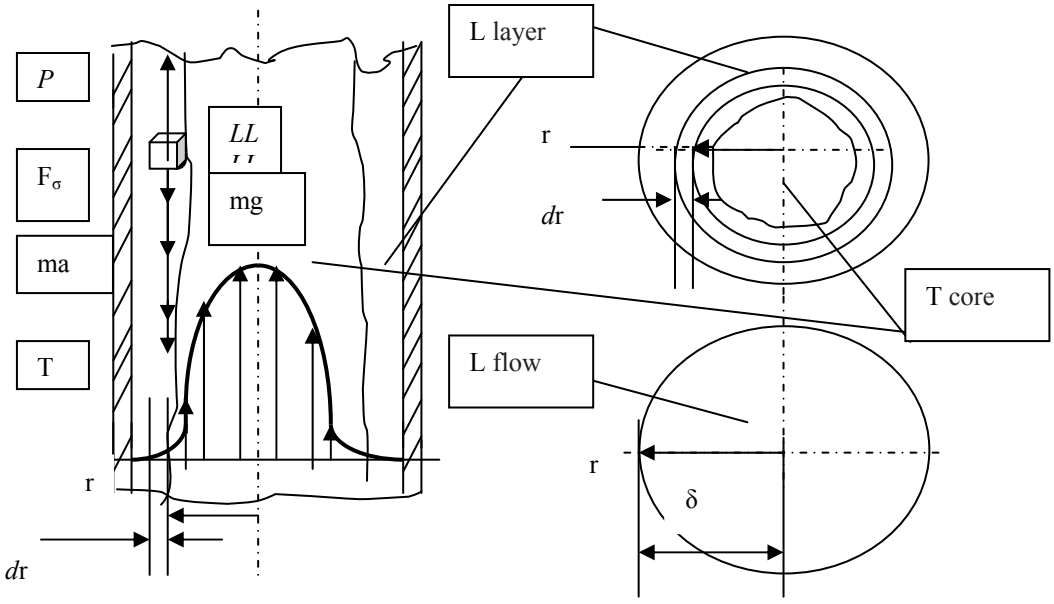

Figure 1. Velocity vectors distribution in tube cross section for turbulent (T) flow.

According to the principle where 'Alambera, after integration and reduction of the number π, we obtain the equation (3):

$$\delta = \sqrt{\frac{\sigma d\cos\theta}{\Delta P}} \qquad (3)$$

Formula (3) is just a stream of fluid on the verge of switching L and Tr mode, in critical Reynolds number $Re_{cr.}$ = 2320. For values of Reynolds that more than critical , equation (3) is written as follows:

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sigma cos\theta d}{\Delta P}}}{K_T}, \qquad (4)$$

If the pressure drop is in accordance with Darcy–Veysbach equation, we get the equation (5):

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sigma\cos\theta d}{\frac{\rho v^2 \xi L}{2d}}}}{\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{cr}}} \qquad (5)$$

If $\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d\rho}{\eta}$, equation (5) is transformed into equation (6):

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{2\sigma\cos\theta d^4\rho}{\xi L \mathrm{Re}^2\eta^2}}}{\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{cr}}}, \qquad (6)$$

or in equation (7):

$$\delta = \frac{\frac{d^2}{\mathrm{Re}\eta}\sqrt{\frac{2\sigma\cos\theta\rho}{\xi L}}}{\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{cr}}} \qquad (7)$$

where ΔP – pressure drop along the pipe or apparatus, Pa; $r = \delta = \frac{d}{2}$; – the radius of elementary ring, m; ξ – Darcy coefficient; ρ – fluid density, kg.m^{-3}; L – length of the pipe, m; d – diameter of the pipe, m; $cos\theta$ – the cosine of the contact angle; δ – the mean thickness of the LBL, m; σ – the surface tension of the liquid, N.m^{-1}; K_T – the coefficient of turbulence, $K_T = \frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{cr}}$; η – coefficient of

dynamic viscosity, $kg.m^{-1}.s^{-1}$; Re – the Reynolds number; Re_{cr} – the critical Reynolds number ($Re_{cr} \approx 2320$), υ – the velocity of the fluid flow, $m.s^{-1}$;

The results formula to determine the average thickness of the LBL, taking into account such surface properties of liquid phase medium as the surface tension on the border of solid – liquid hydrophilic surface and the density and viscosity of the working environment. From equation (7) shows that the average thickness of the LBL of fluid can be reduced by adding material to the liquid phase or carrier small number of surface active substances.

In industrial processes surface active substances use in the form of aqueous solutions. In aqueous solutions surface active substances, depend on their nature, dissociate or dissociate into ions. This behavior enables purposeful change surface properties. We show the change of average thickness LBL water solutions for adding optimal concentrations of surface active substances of different nature. According to the formula (7) calculated the average thickness LBL water at 20 C^0 moving in the pipe diameter d = 21 mm, length l = 3 m at a speed υ = 1 m.s–1

The average thickness of the LBL water:

$$\delta = \frac{\frac{\left(21\cdot10^{-3}\right)^2}{16470\cdot1,29\cdot10^{-3}}\sqrt{\frac{2\cdot73,2\cdot10^{-3}\cdot0,87\cdot1000}{2,79\cdot10^{-2}\cdot3}}}{\frac{16470}{2300}} = 116\cdot10^{-6}\ \text{m}$$

– For water with adding anion active surface active substances:

$$\delta = \frac{\frac{\left(21\cdot10^{-3}\right)^2}{164831\cdot1,26\cdot10^{-3}}\sqrt{\frac{2\cdot34,1\cdot10^{-3}\cdot0,97\cdot1000}{2,79\cdot10^{-2}\cdot3}}}{\frac{16483}{2300}} = 83\cdot10^{-6}\ \text{m}$$

– For water with adding non–ionic surface active substances:

$$\delta = \frac{\frac{\left(21\cdot10^{-3}\right)^2}{16602\cdot1,25\cdot10^{-3}}\sqrt{\frac{2\cdot31,5\cdot10^{-3}\cdot0,98\cdot1000}{2,78\cdot10^{-2}\cdot3}}}{\frac{16602}{2300}} = 79\cdot10^{-6}\ \text{m}$$

– For water with adding kation active surface active substances:

$$\delta = \frac{\frac{\left(21\cdot10^{-3}\right)^2}{16687\cdot1,25\cdot10^{-3}}\sqrt{\frac{2\cdot36,2\cdot10^{-3}\cdot0,97\cdot1000}{2,80\cdot10^{-2}\cdot3}}}{\frac{166876}{2300}} = 85\cdot10^{-6}\ \text{m}$$

Therefore, the average thickness LBL under surface active substances decreased. With the addition of anionic surface active substances 1.4 times; nonionic surface active substances – in 1.47 times, cationic surface active substances – in 1,36 times. Thus, adding the optimal concentration of surface active substances of different nature to the coolant (water) can significantly reduce the rate of its surface tension, and thus minimize the average thickness LBL system wall pipe carrier.

Conclusions

1. An average thickness LBL can be expects in view of the surface tension of liquid coolants.

2.Addition of optimal concentrations of surface active substances to the liquid coolant decreases the average thickness of LBL to 30%.

Prospects for further research. The search for new effective surfactants and their optimal concentrations for liquid coolants to reduce the overall thermal resistance recuperative heat exchangers in the food processing industry.

References

Matushkin, M.P. (1998). Metody intensyfikacii' konvektyvnogo teploobminu v teploobminnyh aparatah [Tekst]. Himichna promyslovist' Ukrai'ny. 2, 29–34 (in Ukrainian).

Anipko, O.B., Gorbunov, K.A. (2001). Metody intensifikacii teplootdachi teploobmennikov transportnyh sredstv (obzor) [Tekst]. Integrirovannye tehnologii i jenergosberezhenie. 1, 13–25 (in Russian).

Uginchus, A.A. (1970). Gidravlika i gidravlicheskie mashiny [Tekst]. Har'kov: Izd. HGU im. A.M. Gor'kogo (in Russian).

Bilonoga, J.L. (2006). Pro docil'nist' rozgljadu gidromehanichnih procesiv z vrahuvannjam sil poverhnevogo natjagu na granici kontaktu tverde tilo–ridina [Tekst]. Integrovani tehnologiї ta energozberezhennja. 2, 56–64.

Стаття надійшла до редакції 1.09.2016