



УДК 66.02.071.7

CALCULATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF THE INTERSTRUCTION SPACE OF THE SHELL-TUBE HEAT EXCHANGER WITH THE VORTEX MOVEMENT OF THE HEAT-WATER
РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕЖТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С УЧЕТОМ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Zhumadullaev D.K. / Жумадуллаев Д.К.*doctoral student / докторант***Yeshzhanov A.A. / Ешжанов А.А.***doctoral student / докторант***Volnenko A.A. / Волненко А.А.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.**M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan**Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан*

Аннотация. В работе рассматриваются результаты исследований гидравлического сопротивления межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника в зависимости от чисел Рейнольдса и сопоставление их с результатами исследований других авторов. Для расчета гидравлического сопротивления предложено использовать уравнения, учитывающие степень взаимодействия по ходу и поперек движущегося потока вихрей, образованных за трубчатыми элементами.

Ключевые слова: кожухотрубчатый теплообменник, гидравлическое сопротивление, межтрубное пространство, трубы, степень взаимодействия вихрей.

Вступление

Известно, что для проведения процесса теплообмена используются различные типы поверхностных теплообменных аппаратов, таких как «труба в трубе», кожухотрубчатые, пластинчатые, спиральные и т.д. Вследствие простоты изготовления и монтажа тепловые поверхности в большинстве случаев выполняются из труб.

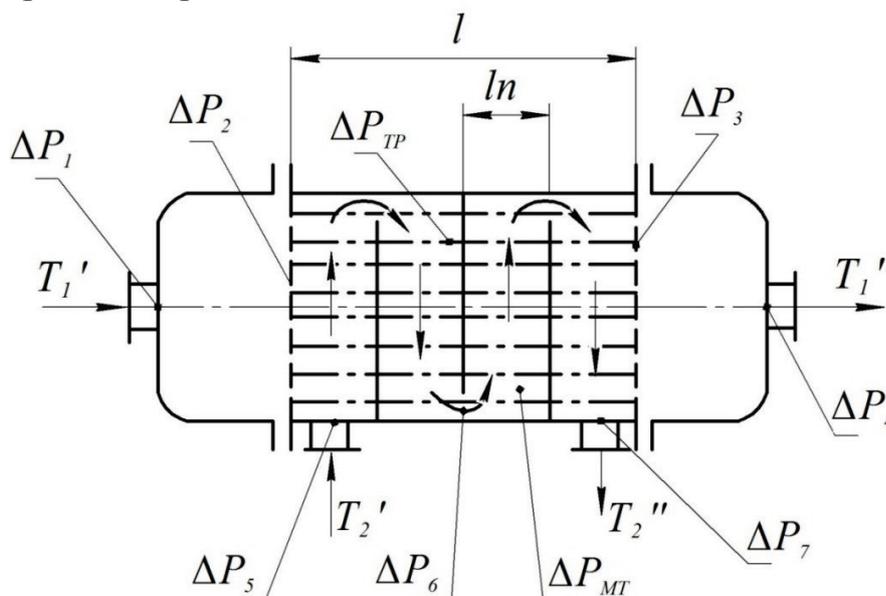
Одной из важных характеристик теплообменников (для подбора вспомогательного оборудования - насосов или газодувок) является гидравлическое сопротивление трубного и межтрубного пространств. Эти сопротивления, определяемые потерями давления на трение и в местных сопротивлениях, зависят от конструкции аппарата (теплообменники с неподвижными трубными решетками ТН, теплообменники с температурными компенсаторами на кожухе ТК, теплообменники с плавающей головкой ТП и т.п.) [1, 2].

Основной текст

Межтрубное пространство кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками представляет собой секции ограниченные перегородками и трубными решетками (рис.1). Схема движения теплоносителя многократно-перекрестное. При вертикальном расположении теплообменника движение теплоносителя осуществляется поперек направления действия силы тяжести. При горизонтальном расположении теплообменника направление движения теплоносителя от секции к секции то совпадает с направлением силы



тяжести, то направлено противоположно.



$\Delta p_1 - \Delta p_4$ – потери давления в местных сопротивлениях при движении теплоносителя в трубах, Па; Δp_5 – потеря давления при входе потока в межтрубное пространство, Па; $\Delta p_{\text{тр}}$ – потеря давления на трение в одном ходе межтрубного пространства, ограниченного стенками кожуха и соседними перегородками, Па; Δp_6 – потеря давления при огибании потоком перегородки, Па; Δp_7 – потеря давления при выходе потока из межтрубного пространства, Па; l – длина труб теплообменника, м; $l_{\text{п}}$ – расстояние между перегородками, м.

Рис.1. Распределение сопротивлений в кожухотрубчатом теплообменнике с неподвижными трубными решетками

Методы исследований. Для проведения исследований гидравлического сопротивления использовался метод непосредственного измерения с применением чашечного манометра и микроманометра.

Результаты исследований. Нами проведен анализ расчетных данных гидравлического сопротивления $\Delta P_{\text{сек}}$, $\Delta P_{\text{общ}}$ и чисел Эйлера Eu от чисел Рейнольдса Re .

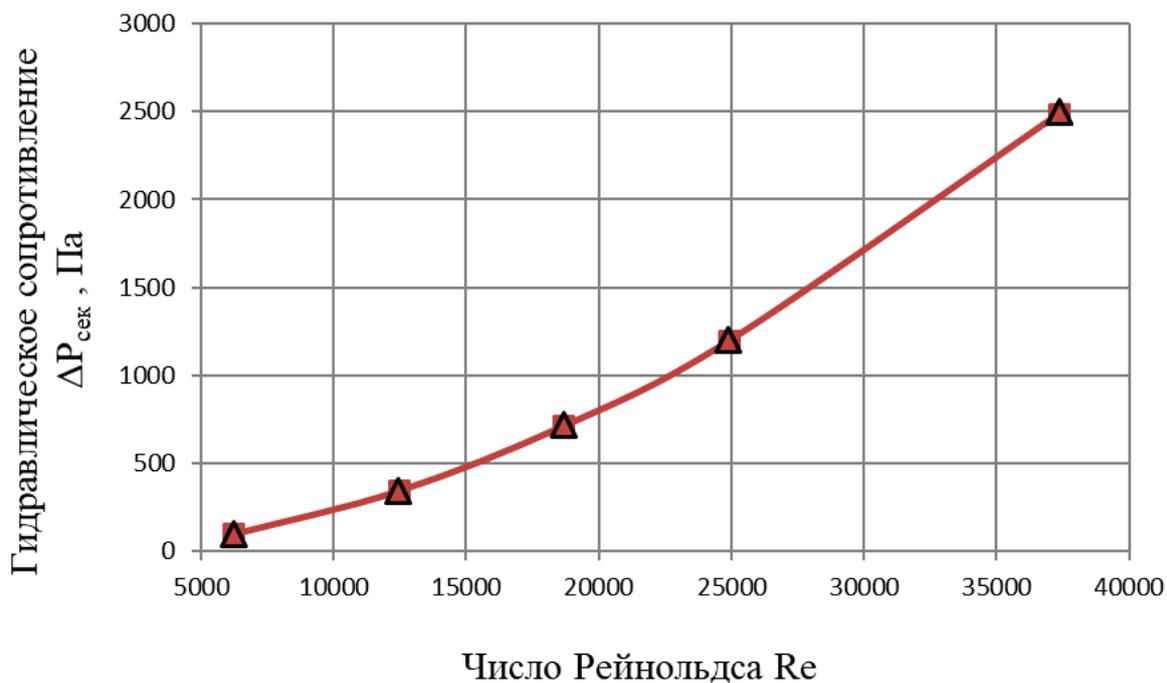
Как видно из рисунков 2 и 3 увеличение чисел Рейнольдса приводит к росту гидравлического сопротивления секций теплообменников $\Delta P_{\text{сек}}$ и общего гидравлического сопротивления $\Delta P_{\text{общ}}$. Это очевидно, так как с увеличением скорости теплоносителя (чисел Рейнольдса) растут сопротивления на преодоление местных сопротивлений и трения.

Необходимо отметить хорошее совпадение данных по расчетным уравнениям предложенных в работе [3] и наших данных.

Изменение характера кривых чисел Эйлера от чисел Рейнольдса (рис. 4) при шагах расположения труб 2,00x2,00 соответствуют результатам исследований, приведенным в работе [4]. В работе отмечается, что зависимость между числом Eu и Re отражает автомодельный характер процесса сопротивления. В интервале чисел Re от 10^3 до 10^4 сопротивление таких пучков зависит только от поперечного зазора. В интервале чисел Re от 1×10^4 до 2×10^5 устанавливается ярко выраженная область смешанного обтекания и зависимость сопротивления от числа Re приобретает степенной характер,

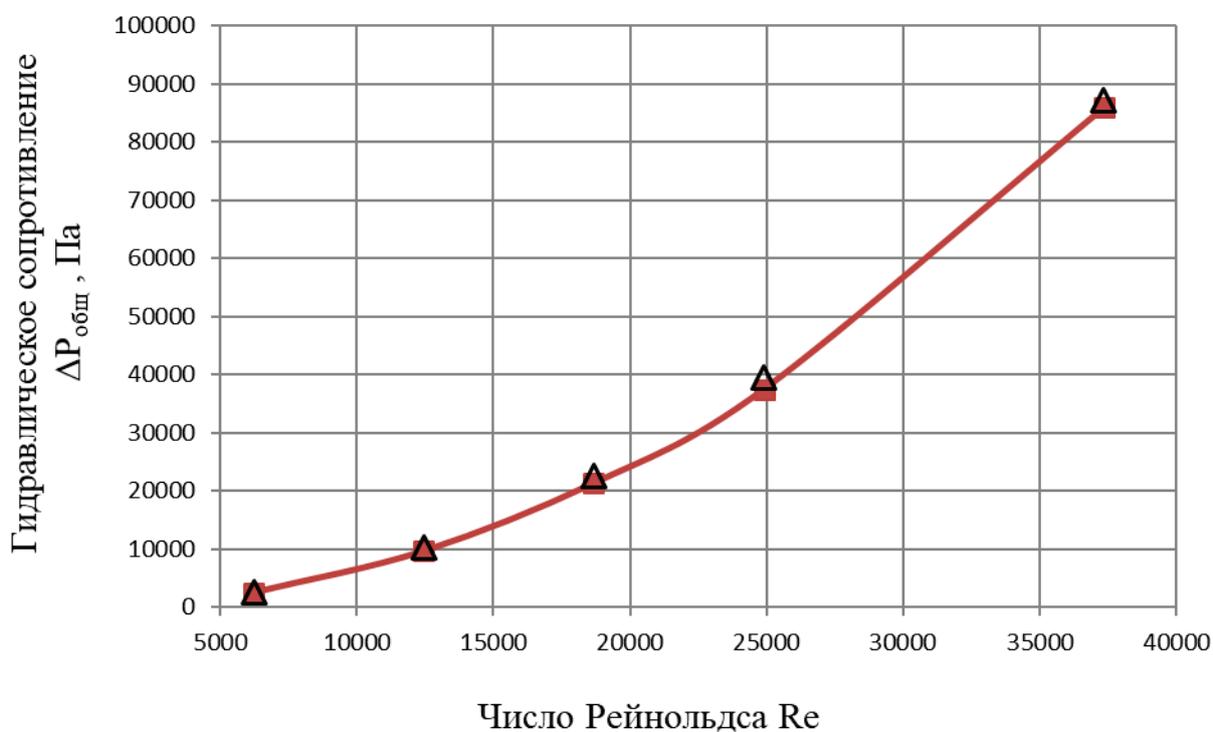


причем показатель степени при числе Re зависит от геометрии пучка.



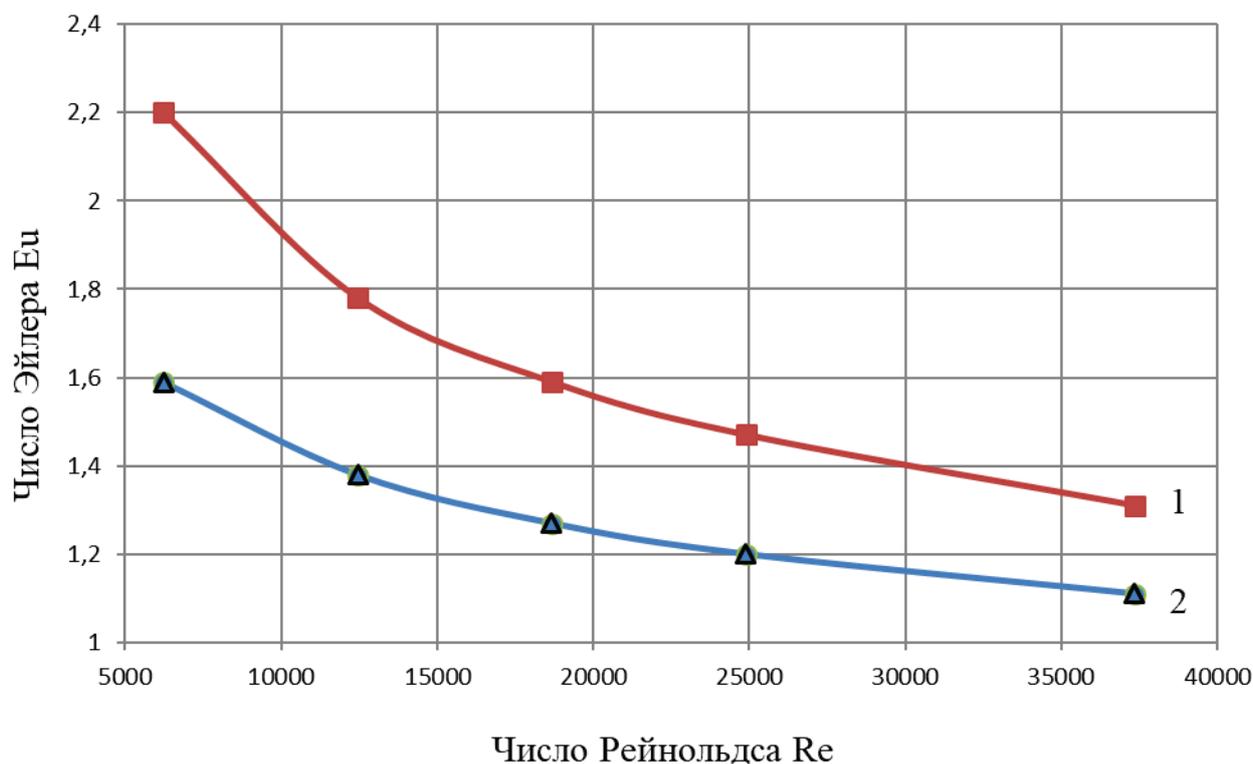
Число Рейнольдса Re
 $t_e=2d; t_p=2d; d=25 \text{ мм}$
 Кривая - $\Delta P_{\text{сек}}$ (наши данные); Δ - $\Delta P_{\text{сек}}$ [3].

Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления $\Delta P_{\text{сек}}$ от чисел Рейнольдса Re



Число Рейнольдса Re
 $t_e=2d; t_p=2d; d=25 \text{ мм}$
 Кривая - $\Delta P_{\text{общ}}$ (наши данные); Δ - $\Delta P_{\text{общ}}$ [3].

Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления $\Delta P_{\text{общ}}$ от чисел Рейнольдса Re



Число Рейнольдса Re
 $t_b=2d; t_p=2d; d=25$ мм
 1 – Eu [5]; 2 – Eu (наши данные); Δ - Eu [3]

Рис. 4. Зависимость чисел Эйлера Eu от чисел Рейнольдса Re

Численные значения графических зависимостей Eu от Re, полученные нами также показывают хорошую сходимость с данными работы [3].

Общее сопротивление межтрубного пространства кожухотрубчатых теплообменников с поперечными перегородками (рис. 1) определяется уравнением [1, 2]:

$$\Delta p = \Delta p_5 + \frac{l}{l_n} \Delta p_{\text{MT}} + \left(\frac{l}{l_n} - 1 \right) \Delta p_6 + \Delta p_7 \quad (1)$$

Как и в случае движения теплоносителя в трубах, потери давления в местных сопротивлениях ($\Delta p_5 - \Delta p_7$) рассчитывают по формуле:

$$\Delta p_i = \zeta_i \left(\frac{\rho \cdot w_i^2}{2} \right), \quad (2)$$

где ζ_i – коэффициент местного сопротивления на рассматриваемом участке теплообменника [6]; w_i – скорость жидкости в узком сечении рассматриваемого участка, м/с.

При этом коэффициенты местных сопротивлений определяют из справочных таблиц [1, 3].

Для расчета потери давления на трение в межтрубном пространстве теплообменника нами предложено уравнение:



$$\Delta p_{\text{мт}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{D}{t_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot W^2}{2} \quad (3)$$

Здесь D – внутренний диаметр аппарата, м; $t_{\text{в}}$ – шаг расположения труб по ходу движущегося потока.

Для расчета коэффициента $\lambda_{\text{тр}}$ нами предложено уравнение, учитывающее степень взаимодействия вихрей при обтекании труб по ходу и поперек движущегося потока:

$$\lambda_{\text{тр}} = 2,275 \cdot \theta_{\text{в}} \cdot \theta_{\text{р}} \cdot Re^{-0,2} \quad (4)$$

Здесь, коэффициент, характеризующий степень взаимодействия вихрей в вертикальном направлении $\theta_{\text{в}}$, рассчитывается по формуле [7, 8]:

$$\theta_{\text{в}} = 0,85 + 0,15 \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{4t_{\text{в}} \cdot Sl}{m_{\text{к}}} + 1 \right) \right], \quad (5)$$

где Sl - число Струхаля для трубчатых элементов $Sl = 0,2$; $m_{\text{к}}$ - параметр, учитывающий вихреобразования, форму обтекаемых элементов и снижение скорости вихрей. Для трубчатых элементов

$$m_{\text{к}} = 0,44(1 - \exp(-t_{\text{в}})), \quad (6)$$

Коэффициент, характеризующий степень взаимодействия вихрей в радиальном направлении и учитывающий изменение частоты вихреобразования, $\theta_{\text{р}}$ может быть определен по формуле [7, 8]:

$$\theta_{\text{р}} = \frac{t_{\text{р}} - \lambda}{t_{\text{р}} - d} \quad (7)$$

Импульсные элементы, расположенные в одном ряду перпендикулярно к обтекаемому потоку, способствуют формированию вихрей с масштабами λ . Существуют два случая для дискретно расположенных тел в одном ряду, перпендикулярному обтекаемому потоку: при $t_{\text{р}} > 2d \lambda = d$; при $t_{\text{р}} < 2d \lambda = t_{\text{р}} - d$.

Оценка энергетических затрат производится по формуле для числа Эйлера [3, 8]:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ж}} \cdot w_{\text{ж}}^2} \quad (8)$$

Заключение и выводы

Результаты проведенных исследований гидравлического сопротивления межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника в зависимости от чисел Рейнольдса при коридорном расположении труб показали хорошую сходимость с результатами других авторов.

Для расчета гидравлического сопротивления предложены уравнения,



учитывающие степень взаимодействия по ходу и поперек движущегося потока вихрей, образованных за трубчатыми элементами.

Литература:

1. Балабеков О.С. Гидравлическое сопротивление и теплообмен при движении теплоносителя в трубном пучке регулярной структуры / О.С. Балабеков [и др.]. // Известия НАН РК. Серия Химии и Технологии. - 2016. - №1. - С.38-43.
2. Волненко А.А., Балабеков О.С., Жумадуллаев Д.К., Ешжанов А.А. Расчет гидравлического сопротивления поверхностных кожухотрубчатых теплообменников // Междунар. науч.-практ. конф. «Путь Казахстана: 25 лет мира и создания с лидером нации» посвященной 25 летию независимости Республики Казахстан. - Шымкент: ЮКГУ им.М.Ауэзова, 2016г. – С.174- 177.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
4. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. -472с.
5. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Теплообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.
6. Sarsenbekuly D. Hydrodynamic laws of the motion of heat carrier at the contact point of the pipe for the heat exchanger unit mass apparatus / D. Sarsenbekuly [et al.]. // International Conference of Industrial Technologies and Engineering, ICITE-2015. – 2015, – P.221-226
7. Серикулы Ж. Разработка и расчет тепломассообменных аппаратов с подвижной насадкой с учетом масштабного перехода: дис. ... доктора PhD. – Шымкент. 2015. -141 с.
8. Бекибаев Н.С. Научные основы сопряженных тепло- и массообменных процессов в синфазно-вихревых аппаратах: дис. ... докт. техн. наук. – Шымкент. 2008. – 240 с.

References:

1. Balabekov O.S. (2016) Gidravlichesкое soprotivlenie i teploobmen pri dvizhenii teponositelja v trubnom puchke reguljarnoj struktury [Hydraulic resistance and heat transfer during the flow of the coolant in a tube bundle of a regular structure] in Izvestija NAN RK. Serija Himii i Tehnologii [Proceedings of NAS RK. Chemistry and Technology Series]. - №1. - pp.38-43.
2. Volnenko A.A., Balabekov O.S., Zhumadullaev D.K., Eshzhanov A.A. (2016) Raschet gidravlichesкого soprotivlenija poverhnostnyh kozhuhotrubchatyh teploobmennikov [Calculation of the hydraulic resistance of surface shell-and-tube heat exchangers] in Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Put' Kazahstana: 25 let mira i sozdanija s liderom nacii» posvjashhennoj 25 letiju nezavisimosti Respubliki Kazahstan [Intern. scientific-practical. Conf. "The Way of Kazakhstan: 25 Years of Peace and Creation with the Leader of the Nation" dedicated to the 25th anniversary of independence of the Republic of Kazakhstan]. - Shymkent, – pp.174- 177.
3. Pavlov K.F., Romankov P.G., Noskov A.A. (1987) Primery i zadachi po kursu processov i apparatov himicheskoj tehnologii [Examples and tasks on the course of processes and devices of chemical technology]. – L.: Himija [L.: Chemistry], – 576 p.
4. Zhukauskas A.A. (1982) Konvektivnyj perenos v teploobmennikah [Convective transfer in heat exchangers] – M.: Nauka, - 472p.



5. Romankov P.G., Frolov V.F. (1982) Teploobmennye processy himicheskoy tehnologii [Heat transfer processes of chemical technology]. – L.: Himija. – 288 p.
6. Sarsenbekuly D. Hydrodynamic laws of the motion of heat carrier at the contact point of the pipe for the heat exchanger unit mass apparatus / D. Sarsenbekuly [et al.]. // International Conference of Industrial Technologies and Engineering, ICITE-2015. – 2015, – P.221-226
7. Serikuly Zh. (2015) Razrabotka i raschet teplomassoobmennyyh apparatov s podvizhnoj nasadkoj s uchetom masshtabnogo perehoda [Development and calculation of heat-mass-exchange devices with a movable packing taking into account the scale transition]: dis. ... doktora PhD [dis. ... PhD doctor]. – Shymkent. -141 p.
8. Bekibaev N.S. (2008) Nauchnye osnovy soprjazhennyh teplo- i massoobmennyyh processov v sinfazno-vihrevykh apparatah [Scientific foundations of coupled heat and mass transfer processes in in-phase vortex devices]: dis. ... dokt. tehn. nauk. [dis. ... Doct. tech. sciences.] – Shymkent. – 240 p.

Abstract. *The paper considers the results of studies of the hydraulic resistance of the annular space of the shell-and-tube heat exchanger as a function of Reynolds numbers and compares them with the results of studies by other authors. To calculate the hydraulic resistance, it is proposed to use equations that take into account the degree of interaction along and across the moving stream of vortices formed behind the tubular elements.*

Key words: *shell and tube heat exchanger, hydraulic resistance, intertube space, pipes, degree of interaction of vortices.*

Статья отправлена: 18.06.2018 г.

© Жумадуллаев Д.К.