

1.2.2

А.И. Хайбуллина канд. техн. наук, А.Р. ХайруллинКазанский государственный энергетический университет
Казань, haybullina.87@mail.ru**ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ТЕПЛООБМЕНА МАСЛООХЛАДИТЕЛЯ ПРИ
НАЛОЖЕННЫХ ПУЛЬСАЦИЯХ ПОТОКА**

В работе численным методом исследован теплообмен в трубе при пульсирующем течении масла с числом Рейнольдса 280, 350, 420. Амплитуда пульсаций A/D находилась в диапазоне от 11 до 23, число Струхала от 0,021 до 0,032, скважность и частота пульсаций были постоянными и соответствовали 0,3 и 1 Гц соответственно. Диаметры D трубы был 0,014 м. Длина трубы составляла $100D$. Пульсаций потока имели несимметричный характер. Численный эксперимент проводился с помощью AnsysFluent. В работе сделана оценка теплогидравлической эффективности пульсационного метода интенсификации. Рост гидравлического сопротивления достигал 10, при этом рост интенсификации теплообмена не превышал 9%. По полученным данным численного эксперимента была рассчитана оценка снижения площади теплообмена маслоохладителя МБ–60–90. Снижение площади теплообмена маслоохладителя может составлять от 3% до 9% в зависимости от режима пульсаций.

Ключевые слова: пульсирующие течения, интенсификация теплообмена, трубчатый теплообменный аппарат.

Маслоохладители широко используется в различных инженерных приложениях. Кожухотрубные маслоохладители применяются для охлаждения масла в подшипниках насосно-перекачивающих станций, которые служат для транспортировки нефтепродуктов в нефтехимической промышленности. Ввиду высокой вязкости масла его течение в маслоохладителе ламинарное. Число Рейнольдса составляет не более 1000. Следовательно, коэффициент теплоотдачи со стороны масла невысокий, что уменьшает эффективность охлаждения маслоохладителей. Обычно не высокая производительность компенсируется увеличением теплообменной поверхности. Для повышения теплоотдачи используется различные методы интенсификации [1]. Для интенсификации теплообмена применяются пассивные и активные методы. К пассивным методам относят трубы с внутренним спиральным оребрением [2], размещение внутри труб скрученных лент [3], применение гофрированных труб [4]. К активным методам относят вращение теплообменной поверхности [5], использование электрического поля [6], пульсации потока [7-9]. В данной работе исследуется влияние пульсаций потока на теплообмен в трубном пространстве маслоохладителя. Также оценивается возможность снижения теплообменной поверхности маслоохладителей за счет пульсаций потока. Применение пульсаций для интенсификации теплообмена в трубе исследовались многими авторами [10-13]. Однако полученных результатов в данной области все еще не достаточно. Следует добавить, что пульсации потока в выше указанных работах близки к синусоидальным пульсациям. В данной работе пульсации имеют несимметричный характер. В прошлых работах авторов показана эффективность несимметричных пульсаций [14,15]

Расчетная область представляла собой трубу с диаметром $D = 14$ мм и длиной $L = 1400$ мм (рис. 1). Скорость на входе трубы u м/с рассчитывалась в зависимости от числа Рейнольдса $Re = uD/\nu$, где ν – кинематическая вязкость масла, $\text{м}^2/\text{с}$. На выходе трубы задавалась давление окружающей среды $P = 101325$ Па. В данном исследовании рассматривается теплообмен при охлаждении масла в внутри труб маслоохладителя, температура стенки трубы была меньше на один градус входной температуры $T_{\text{ст}} = 49$ °С,

$T_{\text{вход}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пульсация скорости, задавалась на входе в трубу и имела необходимую частоту $f = 1/T$ Гц, где T – период пульсаций, с и относительную амплитуду A/D . Несимметричность пульсаций характеризовался параметром скважности $\psi = T_1/T$, где T_1 – период времени соответствующий обратному течению в трубе, с [16]. Течение несжимаемой жидкости моделировалось с помощью нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS) [17].

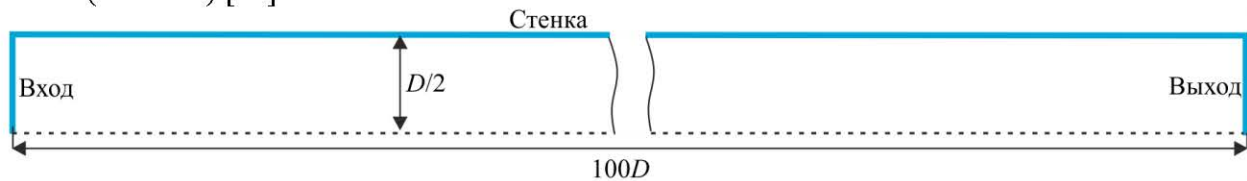


Рис. 1 – Расчетная область модели.

Численное исследование теплообмена при пульсирующем течении в трубе проводилось в AnsysFluent. Течение жидкости решалось в осесимметричной постановке. Сходимость сеточного решателя была показана на 100×10000 элементах [18]. Для верификации полученных результатов полученное число Нуссельта Nu сравнивалось с известным эмпирическим уравнением для ламинарного течения в трубе при $Re \leq 2300$ [19]. Расчет проводился для стационарного течения при числе Re 200, 250 и 300. Результаты согласуются с эмпирическим уравнением, отклонение составило не более 19%.

При численном исследовании число Рейнольдса находилось в диапазоне от 280 до 420, амплитуда пульсаций A/D от 11 до 23, число Струхала $Sh = fD/u$ от 0,021 до 0,032, скважность ψ и частота f пульсаций были постоянными и соответствовали 0,3 и 1 Гц соответственно.

На рис. 2 рост теплоотдачи, при наложении пульсаций, сопоставлен с ростом гидравлического сопротивления. При всех исследованных режимах полученные значения находятся в нижней области графика, что говорит о том, что рост гидравлического сопротивления всегда опережал рост интенсификации теплообмена. Рост гидравлического сопротивления достигает 10, при этом рост интенсификации теплообмена не превышает 9%.

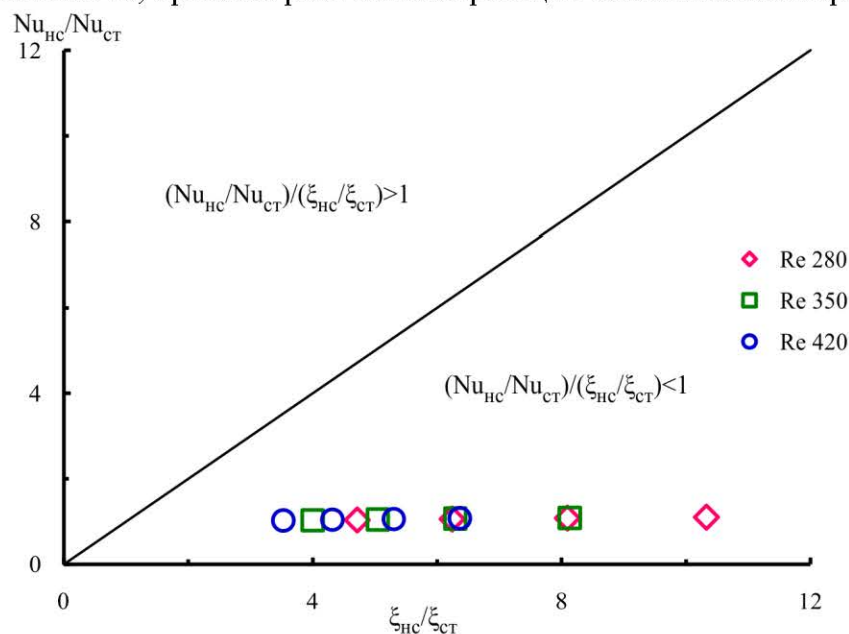


Рис. 2. – Теплогидравлическая эффективность пульсаций в трубе.

Оценка уменьшения площади теплообмена, при применении пульсаций, выполнялась на примере маслоохладителя МБ–63–90 [20]. Внутри трубок маслоохладителя принималось масло турбинное Т-22, снаружи вода. Объемный расход масла и воды принимался $90\text{ м}^3/\text{ч}$ и $120\text{ м}^3/\text{ч}$. Начальная $T_{1м}$ и конечная $T_{2м}$ температура масла $56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $45,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Начальная $T_{1в}$ и

конечная $T_{2в}$ температура воды 36,6 °С и 40,5 °С. Площадь поверхности теплообмена F 63,0, м². Наружный D_n и внутренний D_v диаметр трубок 0,016 м и 0,014 м. Площадь среднего расчетного сечения в одном ходе для воды и масло 0,027 м² и 0,022 м² соответственно. Подробная методика расчета уменьшения площади теплообмена приведена в работе [23].

Необходимая площадь теплообмена для поддержания теплопроизводительности согласно основному уравнению теплопередачи снижается с увеличением амплитуды пульсаций и повышается с увеличением числа Рейнольдса (рис. 3,4). Уменьшение площади теплообмена с увеличением числа Рейнольдса связано с уменьшением числа Струхала. Коэффициент теплопередачи существенно зависит от теплоотдачи масла, что связано с его ламинарным течением. Поэтому процент уменьшения площади теплообмена при пульсирующем течении согласуется с процентом интенсификации теплообмена, но не равен ему.

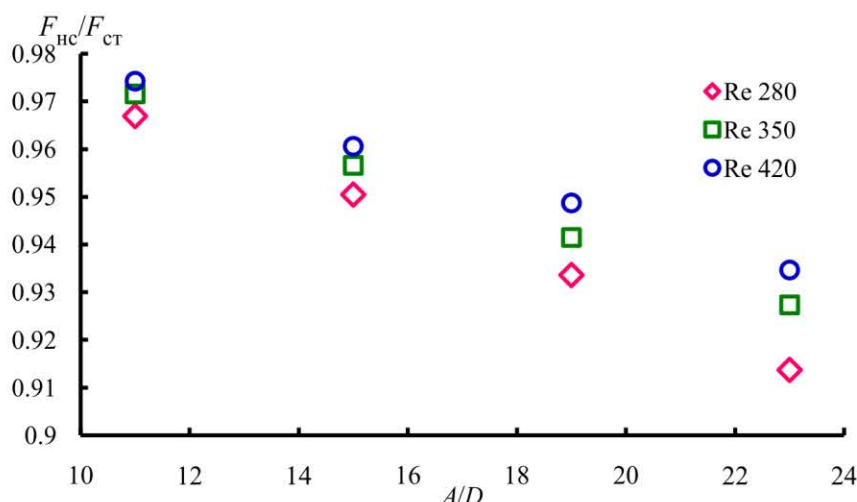


Рис. 3. — Уменьшение площади теплообмена в зависимости от амплитуды пульсаций.

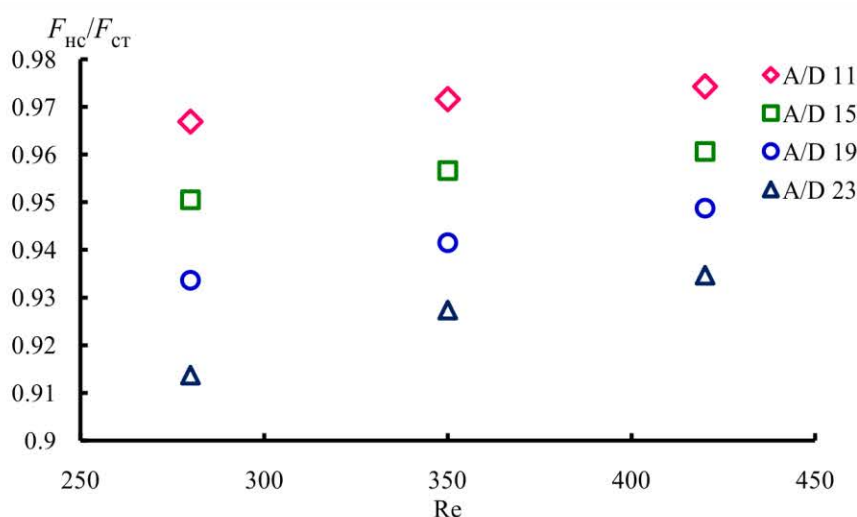


Рис. 4. — Уменьшение площади теплообмена в зависимости от числа Рейнольдса.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-79-10136 <https://rscf.ru/project/21-79-03028/>

Список литературы

1. Maradiya C., Vadher J., Agarwal R. The heat transfer enhancement techniques and their Thermal Performance Factor // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2018. Vol. 7, № 1. P. 1–21.
2. Skrypnik A.N. et al. Thermohydraulic Efficiency of Tubes with Internal Spiral Finning // J Eng Phys Thermophy. 2018. Vol. 91, № 1. P. 52–63.
3. Bhattacharyya S., Chattopadhyay H., Haldar A. Design of twisted tape turbulator at different entrance angle for heat transfer enhancement in a solar heater // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2018. Vol. 7, № 1. P. 118–126.
4. Amrar Z. et al. Parametric study of heat transfer coefficient and friction factor in a corrugated channel // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2022. Vol. 196. P. 123290.
5. Jeng T.-M., Tzeng S.-C., Xu R. Heat transfer characteristics of a rotating cylinder with a lateral air impinging jet // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 70. P. 235–249.
6. Shakiba A., Vahedi K. Numerical analysis of magnetic field effects on hydro-thermal behavior of a magnetic nanofluid in a double pipe heat exchanger // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2016. Vol. 402. P. 131–142.
7. Jin D.X., Lee Y.P., Lee D.-Y. Effects of the pulsating flow agitation on the heat transfer in a triangular grooved channel // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2007. Vol. 50, № 15–16. P. 3062–3071.
8. Jin Q., Wen J.T., Narayan S. Oscillatory valve effect on temperature synchronization in microchannel cooling systems // Applied Thermal Engineering. 2022. Vol. 204. P. 117999.
9. Kurtulmuş N., Sahin B. Experimental investigation of pulsating flow structures and heat transfer characteristics in sinusoidal channels // International Journal of Mechanical Sciences. 2020. Vol. 167. P. 105268.
10. Habib M.A. et al. Convective heat transfer characteristics of laminar pulsating pipe air flow // Heat and Mass Transfer. 2002. Vol. 38, № 3. P. 221–232.
11. Elshafei E.A.M. et al. Experimental study of heat transfer in pulsating turbulent flow in a pipe // International Journal of Heat and Fluid Flow. 2008. Vol. 29, № 4. P. 1029–1038.
12. Patro P., Gupta R., Khuntia A.K. Numerical Study for the Prediction of Heat Transfer in a Pulsating Turbulent Flow in a Pipe // Procedia Engineering. 2015. Vol. 127. P. 854–861.
13. Yuan H. et al. Heat transfer of pulsating laminar flow in pipes with wall thermal inertia // International Journal of Thermal Sciences. 2016. Vol. 99. P. 152–160.
14. Ilyin V.K. et al. Factors influencing on the thermal flow with the cross-section of the corridor tube bundle in low-frequency non-symmetric pulsations // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017. Vol. 240. P. 012026.
15. Ilyin V.K. et al. Thermal and hydraulic efficiency of the corridor tube bundle in conditions of pulsating flow of fluid // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017. Vol. 240. P. 012025.
16. Haibullina A.I., Savelyeva A.D., Hayrullin A.R. Numerical analysis of heat transfer in tubular type heat exchangers of transport vehicles with pulsating flow // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 918, № 1. P. 012164.
17. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений, Санкт-Петербург: Изд. Политехнический университет, 2009, 143 с.
18. Haibullina A.I., Hayrullin A.R. Heat Transfer in Pulsating Laminar Flow in a Pipe: Evaluation of the Reduction in the Heat Exchange Area of Oil Cooler // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. Vol. 988, № 4. P. 042038.
19. Mavridou S.G., Konstandinidis E., Bouris D.G. Experimental evaluation of pairs of inline tubes of different size as components for heat exchanger tube bundles // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 90. P. 280–290.
20. Пермяков В.А. Теплообменники вязких жидкостей, применяемые на электростанциях / В.А. Пермяков В.А., Е.С. Левин, Г.В. Дивова. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 175 с.