

ТЕПЛООБМЕН В ПУЧКЕ ТРУБ ПРИ ПУЛЬСАЦИЯХ ПОТОКА

А. Д. Савельева

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Аннотация – Техничко-экономические показатели теплоэнергетических установок, напрямую зависят от эффективности работы теплообменного оборудования в их составе. Для повышения эффективности теплообменных аппаратов широко применяются различные методы интенсификации теплообмена. Одним из таких методов является пульсация потока жидкости. В данной работе проведено численное исследование локальной динамики теплообмена в семирядном шахматном пучке труб при вынужденных несимметричных пульсациях потока воды. Для целей численного исследования использовался AnsysFluent. Результаты исследования показали, что интенсификация теплообмена для первого и последнего ряда в пучке труб наблюдается в лобовой части цилиндра, а для центральных рядов в кормовой области. При этом интенсивность теплообмена уменьшается при первом полупериоде пульсаций и повышается при втором полупериоде для всех рядов трубок в пучке. Интенсификация теплоотдачи выше для первого ряда в пучке.

Ключевые слова – повышение эффективности теплообменных аппаратов, интенсификация теплообмена, пульсации потока, пучок труб, несимметричные пульсации, кожухотрубный теплообменник.

I. ВВЕДЕНИЕ

Массогабаритные трубчатые теплообменные аппараты широко применяются в составе энергетических установок. Поэтому эффективность работы энергетических установок зависит от работы теплообменного оборудования. В связи с растущими требованиями к энерго- и ресурсоэффективности необходимо повышение эффективности работы теплоэнергетического оборудования.

Повышение эффективности теплообменного оборудования тесно связано с методами интенсификации теплообмена. Для интенсификации теплообмена в пучках труб в основном применяются различные пассивные методы. Например, использование труб с искусственной шероховатостью [1], витых [2] или оребренных [3] пучков труб. Другим методом интенсификации теплообмена является пульсация потока, созданная преднамеренно. Исследования в данной области имеют ограниченный характер [4,5], что сдерживает применение вынужденных пульсаций потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Применяемые вынужденные пульсации потока с целью интенсификации теплообмена в основном имеют симметричный характер [6]. В данной работе исследуется локальная динамика теплообмена по глубине шахматного пучка труб при несимметричных пульсациях потока воды. В работах [7-9] показана эффективность применения несимметричных пульсаций в потоке масла при числе Рейнольдса

$Re < 1000$. В этой статье представлены результаты численного моделирования для числа Рейнольдса $Re = 1100$, числа Прандтля $Pr = 5,1$, частоты $f = 0,5$ Гц, относительной амплитуды $A/D = 0,2$ и скважности пульсаций $\psi = T_1/T = 0,25$.

III. ТЕОРИЯ

На рис. 1 представлена область расчета математической модели. Относительный продольный и поперечный шаг трубок пучка составлял 1,3. Диаметр D цилиндра в пучке составлял 0,02 м. Граничное условие симметрии было задано между половинками трубок снизу и сверху. На входе и на стенках трубок устанавливалось граничное условие, постоянная температура, на выходе - постоянное давление. Разница между температурой на входе и стенками трубок составляла один градус.

При стационарном течении на входе в расчетную область задавалась постоянная скорость потока. Для имитации пульсационного течения на входе в расчетную область пучка труб задавалась зависимость скорости от времени $u(t)$ (рис. 2). Число Рейнольдса рассчитывалась по максимальной скорости в пучке. Частота пульсаций определялась по формуле $f = 1/T$ Гц, где $T = T_1 + T_2$ период пульсаций состоящий из двух полупериодов. Амплитуда пульсаций равнялась расстоянию, которая жидкость проходила за время T_1 . Скважность пульсаций рассчитывалась следующим образом $\psi = T_1/T$.

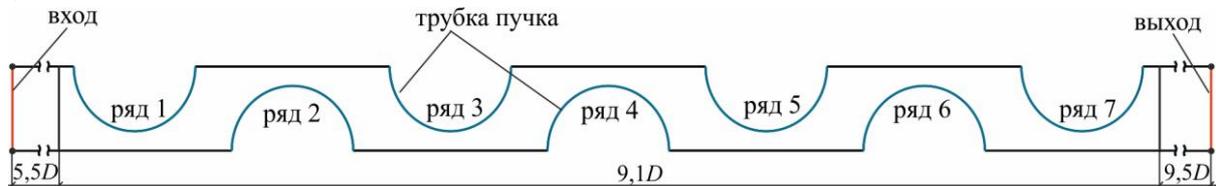


Рис. 1. Расчетная область математической модели

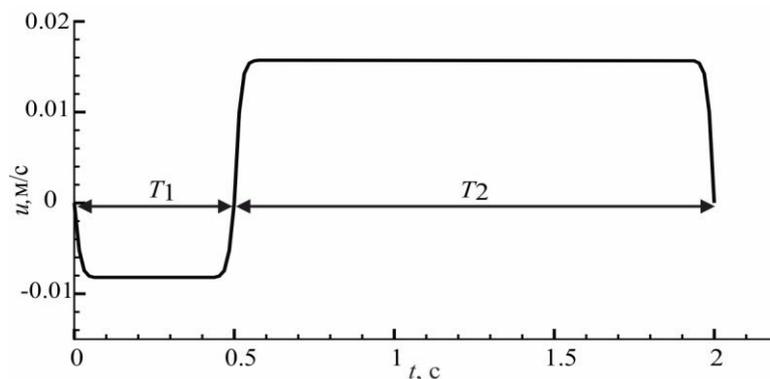


Рис. 2. Форма пульсации скорости задаваемая на входе в трубный пучок при $f = 0,5$ Гц и $A/D = 0,2$

Моделирование течения в трубном пучке осуществлялось на основе уравнений Навье-Стокса с использованием RNG k - ϵ модели турбулентности с расширенным пристеночным моделированием. Расчеты проводились методом конечных объемов с использованием коммерческого пакета вычислительной гидродинамики Fluent [10]. Для стационарного течения использовался стационарный решатель. Для пульсирующего потока шаг по времени составлял 0,001 с. Расчетная сетка состояла из 207953 контрольных объемов.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 3-5 показано изменение мгновенной интенсивности теплообмена по периметру цилиндра в нестационарном течении по сравнению со стационарным в зависимости от азимутального угла и расположения трубки в пучке для разных моментов времени. Лобовая часть трубки соответствует $\varphi = 0^\circ$, кормовая $\varphi = 180^\circ$. Максимальное повышение теплообмена для первого и последнего ряда наблюдается при $\varphi < 80^\circ$, для рядов 2-6 при $\varphi > 100^\circ$. Максимальное увеличение мгновенной интенсивности теплообмена в 5,21 раза наблюдается для первого ряда при $\varphi = 63^\circ$ и момента времени $t = 0,52$. При этом максимальное повышение в 1,16 раза осредненного значения числа Нуссельта Nu за период пульсаций и периметру цилиндра, также наблюдается для первого ряда.

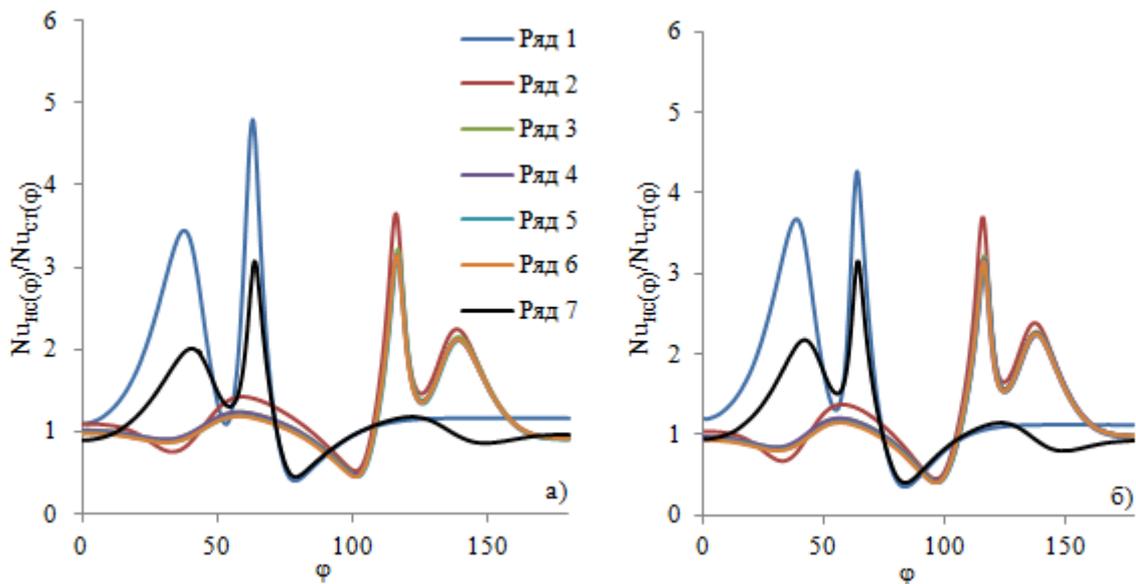


Рис. 3. Зависимость прироста $Nu_{нс(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ от азимутального угла φ : а) $t = 0$ с; б) $t = 0,02$ с

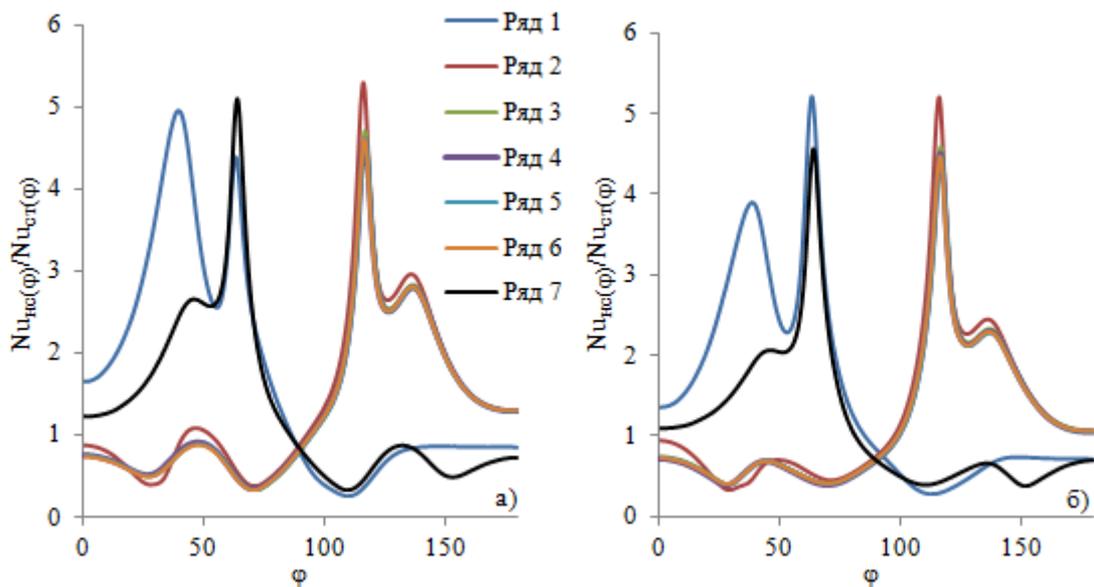


Рис. 4. Зависимость прироста $Nu_{нс(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ от азимутального угла φ : а) $t = 0,2$ с; б) $t = 0,52$ с

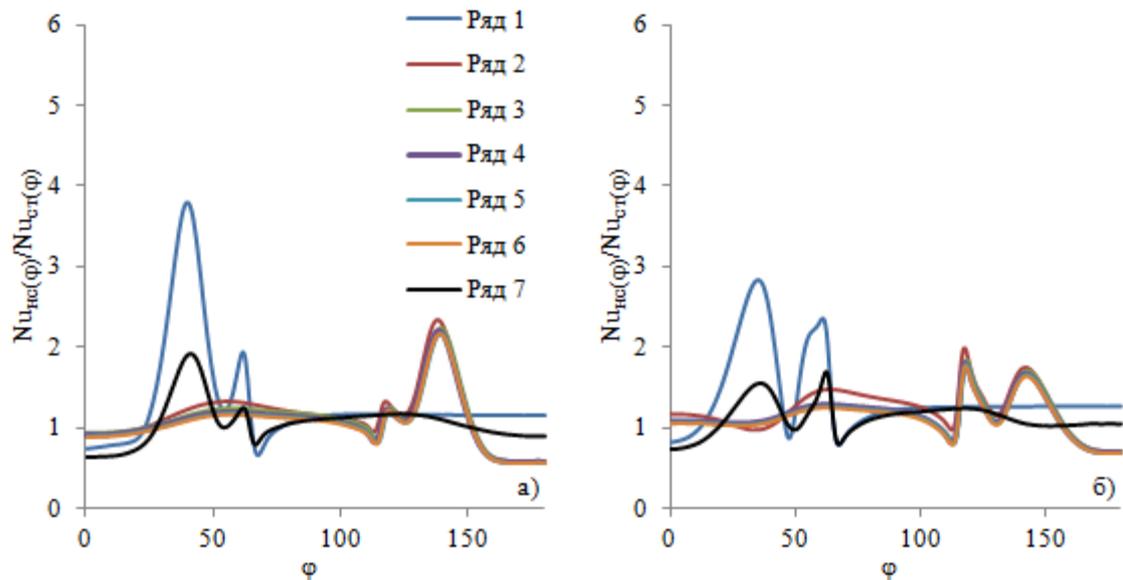


Рис. 5. Зависимость прироста $Nu_{nc(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ от азимутального угла φ : а) $t = 1,24$ с; б) $t = 1,788$ с

По рис. 6 видно, что увеличение прироста отношение $Nu_{nc(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ существенно меняется во времени. Для всех рядов наблюдается уменьшение интенсификации теплообмена во время первого полупериода пульсаций ($t < 0,5$ с), затем происходит повышение отношения $Nu_{nc(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ до момента времени $t \approx 1,8$.

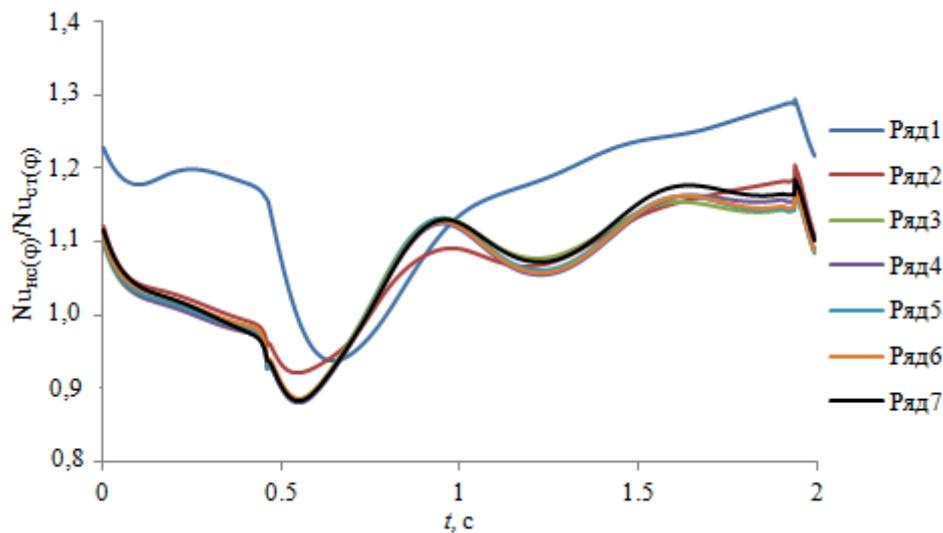


Рис. 6. Зависимость прироста $Nu_{nc(\varphi)}/Nu_{ст(\varphi)}$ за один период пульсаций

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интенсификация теплообмена зависит от периода пульсаций, расположение ряда трубки в пучке и от азимутального угла. Интенсификация теплообмена для первого и последнего ряда в пучке в основном наблюдается в лобовой части цилиндра, а для центральных рядов в кормовой области. При этом известно, что теплоотдача центральных рядов в шахматном пучке при стационарном течении выше в лобовой части трубки и ниже в кормовой [11]. Увеличение теплоотдачи первого ряда возможно

связано с увеличением турбулентности в первом ряду за счет вынужденных пульсаций потока. Поскольку известно, что турбулентность и теплоотдача первого ряда в пучке всегда ниже последующих [11]. Полученные данные по увеличению теплоотдачи первого ряда также согласуются с работой [12].

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Локальная интенсификация теплообмена в шахматном пучке труб при вынужденных пульсациях потока зависит от расположения ряда трубки в пучке, азимутального угла трубки, и периода пульсации. Для первого и последнего ряда максимальное увеличение мгновенной интенсивности теплообмена в пульсационном потоке по сравнению со стационарным потоком наблюдается в лобовой области цилиндра, для центральных рядов в кормовой части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Яцевич А.В. Тепловая эффективность вихревой интенсификации теплоотдачи газового потока при продольном и поперечном обтекании круглотрубных поверхностей часть 2 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, 2015. №4. С 63-74.
- [2] Li X., Zhu D., Sun J., Mo X., Liu S. Heat transfer and pressure drop for twisted oval tube bundles with staggered layout in crossflow of air // Appl. Therm. Eng., 2019. №. 148. P 1092-1098.
- [3] Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Meiris A.Zh. Heat transfer in air flow across a single-row bundle of tubes with spiral grooves // J. Eng. Phys. Therm., 2018. Vol. 91. № 1. P 64-71.
- [4] Molochnikov V. M., Mikheev A. N., Aslaev A. K., Dushina O. A., Paereliy A. A. Heat transfer of a tube bundle in a pulsating flow // Thermophysics and Aeromechanics, 2019. 26(4), С 547-559.
- [5] Konstantinidis E., Balabani S., Yianneskis M. Relationship Between Vortex Shedding Lock-On and Heat Transfer // Chemical Engineering Research and Design, 2003. 81(6), P 695-699.
- [6] Zhao T.S., Cheng P. Heat Transfer in Oscillatory Flows // Annual Review of Heat Transfer, 1998. Vol. 9. № 9. P 359-420.
- [7] Ilyin V.K., Haibullina A.I., Hayrullin A.R., Sabitov L.S. External heat transfer in corridor and staggered tube bundles of different configuration under the application of low-frequency pulsations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. С 012027.
- [8] Ilyin V.K., Haibullina A.I., Hayrullin A.R., Sabitov L.S. Thermal and hydraulic efficiency of the corridor tube bundle in conditions of pulsating flow of fluid // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. С 012025.
- [9] Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Синявин А.А., Ильин В.К. Исследование теплоотдачи в коридорном пучке труб при наложении на поток противоточных несимметричных низкочастотных пульсаций // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии, 2013. № 1 (12). С 312-315.
- [10] ANSYS FLUENT 2011 ANSYS Inc. Southpointe.
- [11] Жукаускас А., Макарявичюс В., Шланчяускас А. Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости / Под ред. А. Жукаускаса – Вильнюс: Минтис, 1968. – 192 с.
- [12] Liang C., Papadakis G. Study of the Effect of Flow Pulsation on the Flow Field and Heat Transfer Over an Inline Cylinder Array Using LES // Engineering Turbulence Modelling and Experiments, 2005. № 6. С 813-822.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. Д. Савельева, магистр, savelevaanna97@mail.ru.