УДК 621.56

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В КОРИДОРНОМ ПУЧКЕ ТРУБ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НА ПОТОК ПРОТИВОТОЧНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Синявин А.А., Ильин В.К.

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной работе экспериментальным способом исследован теплообмен при коридорном расположении пучка труб с наложением на поток жидкости противоточных несимметричных низкочастотных пульсаций. Значения объемных расходов воды пульсирующего потока в экспериментах варьировалось от 0,078 м^3/ч до 0,450 м^3/ч. При этом число Рейнольдса находилось в диапазоне Re = [100;500], а частота пульсаций составляла f = [0,125;0,5] Гц. Изучена проблема интенсификации теплообмена и теплообменного оборудования, рассмотрены работы авторов, занимающихся пульсирующими течениями для повышения теплообмена. Дано краткое описание порядка проведения опыта и принципа работы опытной установки Рассмотрена зависимость изменения критерия Нуссельта от числа Рейнольдса с периодом пульсаций T = [2; 8] секунд и амплитудой колебания потока жидкости в гидравлическом аккумуляторе $A_{г.а.}$ = [20;68] мм.вод.ст. Выявлено, что наложение пульсаций приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи. Проведено сравнение стационарного течения с нестационарным, а также сравнение различных режимов пульсаций между собой с определением наиболее эффективного.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема интенсификации процессов теплообмена является актуальной задачей в энергетических установках. Нынешнее становление энергетики связано с укрупнением теплообменников и увеличением мощности насосов, обеспечивающих необходимый расход теплоносителей. [1]

Следовательно, экономически и экологически целесообразно уменьшение габаритов (металлоемкости), а так же мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей (или потерь давления) при том же расходе теплоносителей. [2]

Техническое совершенствование теплообменного оборудования теплоэнергетической установки положительно влияет на ее характеристики. Поэтому интенсификация теплообмена приводит к повышению производительности не только теплообменного оборудования, но и энергетических установок в целом.

При определенных условиях искусственно созданная нестационарность положительно влияет на теплообмен. [3] Математическое моделирование нестационарных процессов теплообмена при поперечном обтекании одиночного цилиндра [4] и пучка труб коридорного и шахматного [5] расположения выявило, что для теплообмена с экономической точки зрения несимметричные низкочастотные режимы пульсаций являются более эффективными по сравнению с высокочастотными. Следует отметить, что на сегодняшний день зависимостей коэффициента теплоотдачи для несимметричных низкочастотных пульсаций потока жидкости, полученных на основе экспериментальных данных, не существует.

Цель данной работы сравнение стационарного течения с нестационарным в диапазоне частот пульсирующего течения (f = [0,125;0,5]) Гц при различной амплитуде колебания жидкости в пучке труб, а так же сопоставление различных режимов между собой.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Экспериментальные значения коэффициентов теплоотдачи в пульсирующих течениях получались в специально изготовленной ячейке (рис. 1).

Ячейка (теплообменник) – 4 представляет собой корпус длиной 200 мм, ширина и высота составляет 79 мм. По центру ячейки в коридорном порядке расположен пучок медных трубок – 5 наружным диаметром d = 9,52x0,8 мм, где 0,8 толщина трубки, и шагом по ходу трубок $S_{ø}$ = 3 мм. Число трубок по горизонтали равно 7 по вертикали 5.

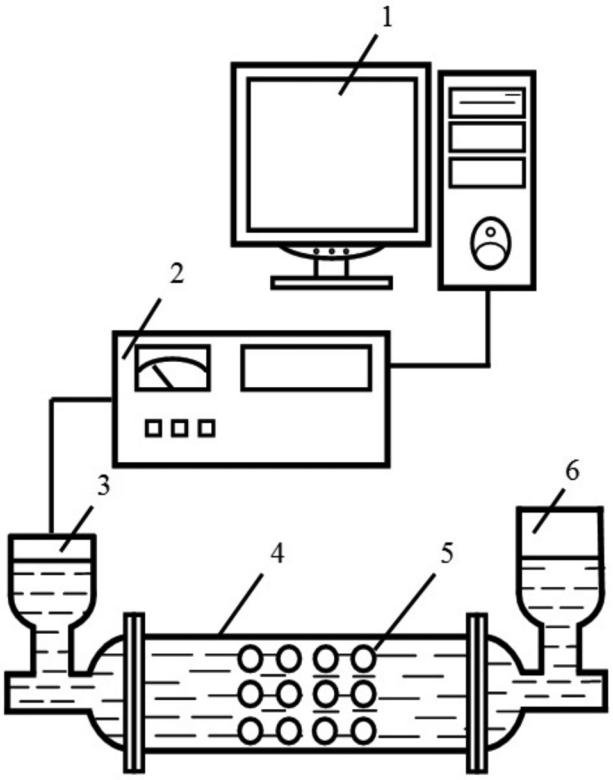

Рис.1 Установка для изучения влияния низкочастотных пульсаций на теплообмен в пучке труб коридорного расположения.

Пульсатор электромагнитного действия – 2 состоящий из компрессора, ресивера объемом 1 литр и электромагнитного клапана служил для создания колебаний жидкости в пучке труб, гидравлический аккумулятор – 6 диаметром 100 мм обеспечивал обратный ход воды в аппарате. Временные характеристики для различных режимов пульсаций задавались на персональном компьютере – 1.

Частотные характеристики пульсаций задавались следующим образом:

частота пульсации

$$f = \frac{1}{T};$$

период пульсации равный двум полупериодам

$$T = T_1 + T_2,$$

где полупериод T_1=0,5 с был постоянной величиной.

Регулированием давления в ресивере компрессора задавалось необходимая амплитуда колебания потока жидкости в пучке труб $A = (0{,}5 \div 1{,}2)d$, где d наружный диаметр трубки.

Давление в пульсационной камере $p_{\text{п.к.}}$ – 3 во время полупериода T_1 при определенных режимах изменялось в пределах 13 – 530 мм.вод. ст., что соответствовало максимальному и минимальному значению амплитуды колебания гидравлического аккумулятора

$$A_{\text{г.а.}} = \frac{L}{S_{\text{г.а.}}} \cdot T_1 + \frac{A \cdot S_{\text{тп}}}{S_{\text{г.а.}}} \text{ (мм. вод. ст.)},$$

где $S_{га}$ – сечение гидравлического аккумулятора $S_{я}$ – сечение ячейки, L – расход воды пульсирующего потока.

Число Рейнольдса в межтрубном пространстве теплообменника находилось в диапазоне (Re = [100;500]) и рассчитывалось по следующей формуле

$$\mathrm{Re} = \frac{\omega d}{v},$$

где d – наружный диаметр трубы

Для обработки экспериментальных результатов значение внешнего коэффициента теплоотдачи определялось по уравнению теплопередачи и тепловому балансу по измеренным расходу теплоносителей и их температурам на входе и выходе из теплообменника. При этом коэффициент теплоотдачи в трубном пространстве определялся при заданном гидродинамическом режиме Re >10000 по следующему критериальному уравнению

$$Nu = 0{,}021 \mathrm{Re}^{0{,}8}\, \mathrm{Pr}^{0{,}43}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате эксперимента выявлено увеличение числа Нуссельта по сравнению со стационарным при различных режимах от 5% при периоде пульсаций T=8 с и амплитуде колебаний A=0,5d до 32% при периоде T=2 с и амплитуде A=1,2d (рис.2).

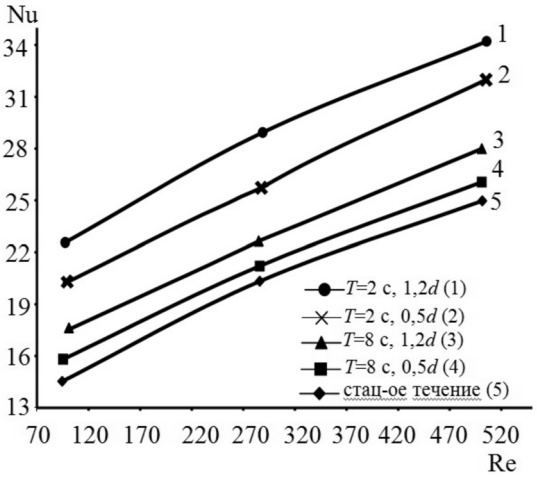

Рис.2 Интенсивность теплоотдачи.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что наложение несимметричных низкочастотных пульсаций на поток приводит к интенсификации теплообмена в среднем на 17%. Наиболее эффективным режимом в исследованном диапазоне без учета затрат энергии на генерацию пульсаций является режим с частотой f=0,5 Гц и амплитудой колебаний 1,2d. Следует отметить, что максимальное значение коэффициента теплоотдачи наблюдается при максимальной частоте и амплитуде колебаний.

По полученным результатам исследования можно сделать вывод о перспективности дальнейшего изучения пульсирующих течений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.А. Перспективные методы интенсификации теплообмена для теплоэнергетического теплообмена оборудования / И.А. Попов, А.Б. Яковлев, А.В. Щелков, Д.В. Рыжков, Л.А. Обухова // «Энергетика Татарстана», 2011 – № 1. 25–29 С. Popov, I.A., Jakovlev, A.B., Shelchkov, A.B., Ryzhkov, D.V. and Obuhova, L.A. (2011), “Perspective methods of an heat exchange for the heat power equipment intensification”, Tatarstan energy, no.1, pp. 25–29.
2. Назмеев Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. – М.: МЭИ., 2002. – 260 С. Nazmeev, Yu.G. and Lavygin, V.M. (2002), *Teploobmennye apparaty TES. Ychebnoe posobie dlya vuzov. 2-e izd., pererab.* [Heat-exchange devives TPS. High school textbook. Second revised edition], Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia.
3. Н.И Михеев. Механизмы интенсификации теплоотдачи при отрыве пульсирующего течения / Михеев Н.И., Молочников В.М., Давлетшин И.А. // Труды V пятой Российской национальной конференции по теплообмену. – М.: МЭИ, 2010. – Т.6., 117–120 С. Mikheev, N.I., Molochnicov, V.M. and Davletshin, I.A. (2010), “The mechanisms of intensification heat transfer in the separation of the pulsating flow”. *Trudy pyatoy rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po teploobmeny.* [Proceedings of the 5th of the Russian National Conference on Heat Transfer], Moscow, Vol. 2, pp. 117–120.
4. Мусаева Д.А. Синявин А.А. Гурьянов А.И. Математическое моделирование процессов теплообмена при поперечном обтекании цилиндра в условиях низкочастотных несим-

метричных пульсаций потока жидкости / Д.А. Мусаева А.А. Синявин А.И. Гурьянов // Известия ВУЗов «Проблемы энергетики», 2012. – № 7–8. 19–27 С. Musaeva, D.A., Sinyavin, A.A. and Gurianov, A.I. (2012), "Mathematical modeling of heat transfer processes under conditions of low-frequency non-symmetric pulsations of fluid flow", Energy problems, no. 7–8, pp. 19–27.

5. Мусаева Д.А. Внешний теплообмен при низкочастотном пульсационном потоке в пучке труб / Д.А. Мусаева, А.Р. Хайруллин, А.И. Гурьянов, А.А. Синявин // VIII–я Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения». – Том II / – Изд-во Казань, 2013. 139–140 С. Musaeva, D.A. and Khayrullin, A.A. (2013), Outward heat exchange at low frequency pulsating flow in the tube bundle". *VIII–ya Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaay konferentsiay Tinchurinskie chteniay.* [8th International youth conference Tinchurin reading], Kazan, Vol. 2, pp. 139–140.

© Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Синявин А.А., Ильин В.К.