

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**



«Энергосбережение. Наука и образование»

Сборник докладов
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
28 ноября 2017 г. в городе Набережные Челны

Набережные Челны – 2017

УДК 620.9:001:37 (063)

ББК 31.15я431

Э 65

«Энергосбережение. Наука и образование»: (2017; Набережные Челны): сборник докладов международной конференции, 28 ноября 2017 г. / ред. кол. Исафилов И.Х. [и др.]; под ред. д-ра техн. наук И.Х. Исафилова. - Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2017. – 791с.

Сборник докладов международной конференции издан при финансовой поддержке министерства образования и науки Российской Федерации.

Данный сборник содержит доклады участников конференции «Энергосбережение. Наука и образование» состоявшейся 28 ноября 2017 года. Тематика докладов охватывает широкий круг вопросов в области энергосбережения, отражающие научные и практические результаты в области энергосбережения.

Главный редактор

доктор технических наук, профессор

Исафилов Ирек Хуснемарданович

Технические редакторы

Рахимов Радик Рафисович

Валиев Рамиль Ильдарович

Члены редколлегии:

1. Исафилов Ирек Хуснемарданович, д.т.н., профессор, зав. отделением информационных технологий и энергетических систем Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) Федерального университета, председатель программного комитета.
2. Цой Александр Петрович, Президент Казахстанской Ассоциации холодильной промышленности; академик Международной Академии Холода, профессор, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.
3. Кашапов Наиль Фаикович, д.т.н., профессор, проректор по инженерной деятельности, Казанский (Поволжский) федеральный университет.
4. Гуреев Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, проректор по развитию, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева.
5. Щеренко Александр Павлович, д.т.н., профессор, Московский институт энергобезопасности и энергосбережения.
6. Мельничук Борис Михайлович, национальный координатор Проекта ЮНИДО в РФ.
7. Громов Андрей Николаевич - начальник центра стратегического развития, ОАО «Всероссийский Институт Лёгких Сплавов».
8. Аляшев Юрий Леонидович, Заместитель министра строительства, архитектуры и ЖКХ РТ.
9. Кропотова Наталия Анатольевна, Заместитель Руководителя Исполнительного комитета г. Набережные Челны.
10. Яруллин Рафинат Саматович, д.х.н., профессор, президент Ассоциации «Некоммерческое партнерство «Камский инновационный территориально-производственный кластер».
11. Мартынов Евгений Васильевич, д.т.н., профессор, Директор ГАУ «Центр энергосберегающих технологий РТ при Кабинете Министров РТ».
12. Башаров Фарид Рашидович, Генеральный директор Союза «Торгово-промышленная палата г. Набережные Челны РТ»

© Набережночелнинский
институт К(П)ФУ, 2017 год

Список литературы

1. Баранов Л.А. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Баранов Л.А., Головичер Я.М., Ерофеев Е.В., Максимов В.М.; под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Идиятуллин Р.Г. Разработка и внедрение экспериментальной системы энергетического аудита подвижного состава / Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э., Колесников С.В., Водолазов В.Н. // Известия вузов. Проблемы энергетики, Казань: КГЭУ, № 3–4, 2005. С. 48–57.
3. Киснеева Л.Н. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта / Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э. // Вестник НЦБЖД. 2016. № 3 (29). С. 36–42.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC TRACTION ELECTRIFIED VEHICLES

Aukhadееv A.E., Kiseeva L.N., Babakuliev R.Yu.
Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan
E-mail: kafedra-et@yandex.ru

Annotation. The issue of constructing a system for automated control of the rolling stock electric traction in urban electric transport is considered, and a structural scheme is proposed.

ВНЕШНЯЯ ТЕПЛООТДАЧА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ТЕЧЕНИЯХ В ПУЧКАХ ТРУБ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Хайбуллина А.И., Бадретдинова Г.Р.
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
E-mail: haybullina.87@mail.ru

Аннотация. В работе численным методом исследован внешний коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании пучков труб,

пульсирующем потоком. Моделирование проводилось с помощью программы ANSYS Fluent 14.0. Числа Рейнольдса лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 1000$, числа Прандтля $215 \leq Pr \leq 363$, частота и безразмерная амплитуда пульсаций находилась в диапазоне $0,2 \leq f \leq 0,5$, Hz, $15 \leq \beta \leq 35$, скважность пульсаций $0,25 \leq \psi \leq 0,5$. Исследование внешней теплоотдачи при низкочастотных пульсациях проводилось для 3 коридорных пучков.

Теплоотдача при пульсирующих течениях исследуется не одно десятилетие на данный момент имеется огромное количество работ посвященных исследованиям внешнего и внутреннего теплообмена при пульсирующих течениях, а именно течение жидкости в трубах круглого сечения [1], в каналах с углублениями [2], при обтекании одиночного цилиндра [3, 4], тандема цилиндров [5], различных выступов, блоков и других препятствий [6, 7].

Расчетная область модели представлена на рис. 1.

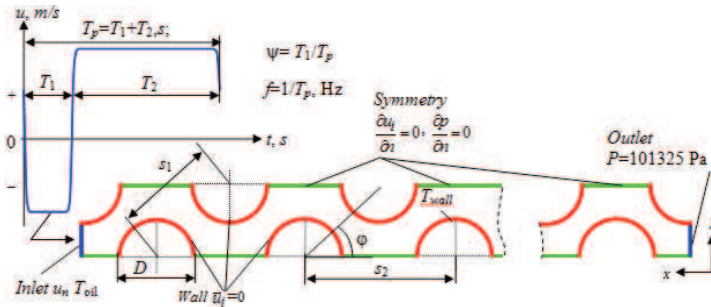


Рисунок 1. Расчетная область модели

Течение несжимаемой жидкости описывается системой уравнений Навье-Стокса (Reynolds averaged Navier–Stokes RANS) осредненных по методу Рейнольдса, которая состоит из уравнения неразрывности [8]

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

и уравнения переноса для средних значений величин, случайным образом пульсирующих в турбулентном потоке с применением теории турбулентной вязкости предложенной Ж. Буссинеском

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right), \quad (2)$$

где $\bar{u}_i$, $\bar{u}_j$ – компоненты осредненной скорости; ρ – плотность жидкости; μ – динамическая вязкость; $\bar{p}$ – давление; μ_t – турбулентная вязкость; ($i = 1, 2, j = 1, 2$).

Теплоперенос описывается уравнением конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа [11].

Для моделирования турбулентности на основе проведенного анализа [9, 10] была выбрана модель Спаларта-Аллмараса (Spalart-Allmaras, SA) в модифицированном виде SARC с поправкой на кривизну линии тока (RC).

Пульсирующие течения моделировались с помощью профиля скорости (зависимость скорости от времени $u(t)$), соответствующий необходимым относительным амплитудам β , частотам f , Re и скважностям ψ пульсаций, который задавался на входе пучок труб в качестве граничного условия (рис. 1). Относительная амплитуда рассчитывалась как $\beta = A/D$, где A – смещение частицы жидкости назад, м, в самом узком сечении межтрубного пространства пучка; D – диаметр трубки пучка.

Профиль скоростей получен с помощью математической модели гидравлической системы пульсатор–теплообменник [11].

Численное моделирование проводилось для диапазона чисел Прандтля $215 \leq Pr \leq 363$, скважности пульсаций $0,25 \leq \psi \leq 0,5$, при этом числа Re и частоты f лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 1000$, $0,2 \leq f \leq 0,5$ Hz, относительная амплитуда $15 \leq \beta \leq 35$.

Варианты пучков соответствуют распространенным в теплообменном оборудовании [12].

Численное моделирование выполнялось в программе ANSYS Fluent 14.0 методом конечных объемов finite volume method (FVM). Расчет оптимальной сетки произведен по методике, приведенной в работе [10].

По результатам численного эксперимента можно сделать вывод, что повышение числа Pr также как и повышение Re приводит к снижению теплоотдачи при пульсирующем течении по сравнению со стационарным независимо от s_1/D . Также при минимальных β и f наблюдаются значения $Nu_p/Nu_{st} < 1$, что в основном проявляется при приближении к симметричному характеру пульсаций $\psi = 0,5$ и с уменьшением s_1/D .

В результате обобщения данных численного моделирования получено критериальное уравнение следующего вида

$$\frac{Nu_p}{Nu_{st}} = 0,954 Re^{-0,201} \cdot Pr^{-0,211} \cdot \beta^{0,184} \cdot Fo^{-0,230} \cdot \psi^{-0,053} \cdot \varphi^{0,085} \cdot s_1/D^{0,287} \quad (3)$$

где Nu_{st} – числа Нуссельта при стационарном течении можно найти по критериальному уравнению

$$Nu_{st} = 0,354 \cdot Re^{0,6} Pr^{0,33} \varphi^{-0,1} \cdot (s_1/D)^{-0,45} \cdot (\mu_{ж}/\mu_{ст})^{0,14}, \quad (4)$$

Уравнение (3) получено для диапазонов $215 \leq Pr \leq 363$, $0,25 \leq \psi \leq 0,5$, $100 \leq Re \leq 1000$, $15 \leq \beta \leq 35$, $5,81 \cdot 10^{-4} \leq Fo \leq 14,53 \cdot 10^{-4}$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,906$, максимальная погрешность аппроксимации не более $\delta_{\max} = 35,7\%$, среднее отклонение не более $\bar{\delta} = 5,5\%$.

Численным методом исследован теплообмен при поперечном обтекании пучков труб с наложением на поток жидкости низкочастотных пульсаций. Показано, что в зависимости от параметров пульсаций теплоотдача Nu_p/Nu_{st} может быть увеличена до 3 раз.

Установлено, что увеличение β и f приводит к повышению Nu_p/Nu_{st} , а увеличение Re , Pr и ψ к снижению Nu_p/Nu_{st} .

Список литературы

1. Li Hua, Zhong Yingjie, Zhang Xuemei, Deng Kai, Lin Haihao, Cai Luyin. Experimental Study of Convective Heat Transfer in Pulsating Air Flow inside Circular Pipe // International Conference on Power Engineering-2007, October 23-27, 2007, Hangzhou, China. 880-885 P.
2. 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 Vol., 50. 2007. 3062–3071 P.
3. Mikheev N.I., Molochnikov V.M., Mikheev A.N., Dushina O.A. Hydrodynamics and heat transfer of pulsating flow around a cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer Vol., 109. 2017. 254–265 P.
4. Armin W, Wolfgang P Dynamics of unsteady heat transfer in pulsating flow across a cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer Vol., 109, 2017. 1111–1131 P.
5. Amiri S., Taher R., Mongeau L. Quantitative visualization of temperature field and measurement of local heat transfer coefficient over heat exchanger elements in sinusoidal oscillating flow// Experimental Thermal and Fluid Science Vol., 633. 2017. 1724–1730 P.
6. Khalil K, Bader A., Awadh A., Ioan P. Mixed convection analysis of laminar pulsating flow and heat transfer over a backward-facing step // International Journal of Heat and Mass Transfer Vol., 51. 2008. 5785–5793 P.
7. Moon Jeong Woo, Kim Seo Young, Cho Hyung Hee. Frequency-dependent heat transfer enhancement from rectangular heated block array in a pulsating channel flow // International Journal of Heat and Mass Transfer Vol., 48. 2005. 4904–4913 P.
8. Wilcox David C. Turbulence Modeling for CFD. Third edition copyright 2006 by DCW Industries, Inc. 515 P.
9. You Qin Wang Turbulence Modeling Applied to Flow Through a Staggered Tube Bundle // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. – 2010. – Vol. 24, № 3. C. 534–543.

10. Khaybullina A.I., Khayrullin A.R., Sinyavin A.A., Ilin V.K. Modeling the turbulence of a pulsating flow of a heat carrier in a corridor bundle of tubes // Collection of articles of the V All-Russian Scientific Conference «Thermophysical foundations of energy technologies» with international participation, Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2014. 368-372 P.

11. Khaybullina A.I., Khayrullin A.R., Ilin V.K. Heat transfer in the flow channel in tube bundle corridor type under imposed on the flow liquid of upstream low-frequency asymmetrical pulsations //Energy Problems, No.11-12, 2016, 64-75 P.

12. Ramesh K. Dusan P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Copyright 2003 John Wiley & Sons, Inc. 931 P.

EXTERNAL HEAT TRANSFER IN PULSATING FLOWS IN PIPE BUNDLES OF VARIOUS CONFIGURATIONS

Haibullina A.I., Badretdinova G. R.

Kazan State Power Engineering University, Kazan

E-mail: haybullina.87@mail.ru

Abstract. In this paper, the external heat transfer coefficient for cross flow around a tube bundle by a pulsating flow was studied numerically method. ANSYS Fluent 14.0 is used for the mathematical modeling. The Reynolds numbers lie in the range $100 \leq Re \leq 1000$, the Prandtl number $215 \leq Pr \leq 363$, the frequency and the dimensionless relative amplitude of the pulsations were in the range $0,2 \leq f \leq 0,5$, Hz, $15 \leq \beta \leq 35$, the pulsation ratio $0,25 \leq \psi \leq 0,5$. The external heat transfer was studied for low-frequency pulsations for 9 configurations of staggered tube bundles and 3 corridor tube bundles. Based on the simulation results, a criterial equation is obtained that allows calculating the external heat transfer in pulsating flows in tube bundles of different configurations.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДИРНИ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ТЭЦ

Бадриев А.И., Шарифуллин В.Н.

Казанский государственный энергетический университет, Россия, г. Казань

E-mail: aibadriev@gmail.com

Аннотация. Получена эксплуатационная характеристика башенной градирни в условиях неравномерности орошения охлаждающей воды. Проведён анализ влияния характеристики на эффективность градирни при устранении неравномерности орошения. Сформулирована задача повышения охлаждающей мощности аппарата.

На тепловых электростанциях, особое внимание уделяется вопросам энергосбережения и повышения эффективности работы градирен. Расход условного топлива на производство электроэнергии, глубина вакуума в конденсаторах и мощность паровой турбины определяется эффективностью аппарата. Одной из причин малой производительности градирен могут стать неравномерные распределения потоков в процессе охлаждения воды.

Решено провести анализ влияния эксплуатационной характеристики на эффективность башенной градирни при неравномерном орошении воды.

Основываясь на результатах экспериментальных исследований неравномерности плотности орошения воды, проведена оценка влияния распределения орошения на степень охлаждения воды в аппарате. Построена регрессионная модель зависимости плотности орошения от перепада температуры воды (рис. 1).

27. Александров Ю.Б., Хасанова Ю.А., Гибадуллина А.Э., Шарафутдинова Р.А., Михайлов Э.А. Обеспечение энергоэффективности работы камеры сгорания газотурбинного двигателя.....	115
28. Ключников О.Р., Астраханов М.В. Исследование составляющих теплопотерь материалов, конструкций и создание установки и методики их измерения.....	119
29. Атаков С.Ш., Саримов Л.Р., Ильин В.И., Галимов Н.С. Создание энергоэффективной гибридной системы электроснабжения потребителей.....	123
30. Найгерт К.В., Целищев В.А., Атанов А.Ю. Магнитореологический привод.....	127
31. Аухадеев А.Э., Киснеева Л.Н., Бабакулыев Р.Ю. Повышение энергоэффективности электрической тяги электрифицированных транспортных средств.....	130
32. Хайбуллина А.И., Бадретдинова Г.Р. Внешняя теплоотдача при пульсирующих течениях в пучках труб различной конфигурации.....	134
33. Бадриев А.И., Шарифуллин В.Н. Влияние характеристик градирни на энергосбережение ТЭЦ.....	140
34. Бекиров Э. А., Каркач Д. В. Экспериментальное исследование увеличения эффективности фотопанели в гибридном коллекторе.....	142
35. Рожин М.М., Борисова Н.Н. Эффективность использования малой ВЭУ в п. Чокурдах Аллаиховского Улуса.....	147
36. Бугаев М.Г., Калимуллин Р. Р. Численное моделирование аварийных участков трубопроводов при транспорте нефтепродуктов.....	152
37. Чернов Д.Д., Петров П.В. Расчет и моделирование регулятора расхода	
38. Зайнуллин Ш. Р., Нуриев И. М. Разработка средств экономии топлива для легковых автомобилей.....	161