

**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

12. Борщенко Я.А. Электронные и микропроцессорные системы автомобилей. Учебное пособие. Автор: Борщенко Я.А., Васильев В.И. Год издания: 2007

13. Борисов А.А. Азбука установщика. Информационно-справочное издание по установке автосигнализаций Автор: А.А. Борисов, М.Ю. Курчин; сост. Потрясаев С.А. Год издания: 2013

14. Вагин, П.И. Электрооборудование трактора С-80; – Челябинск: Челябинблгиз - , 1993. - 643 с.

15. Вахламов В.К. Техника автомобильного транспорта. – М.: «Академия», 2004.

## DEVELOPMENT OF FUEL ECONOMY FOR CARS

Zainullin Sh. R., Nuriyev IM

KFU Naberezhnye Chelny [zshrin@mail.ru](mailto:zshrin@mail.ru)

**Annotation.** The automotive industry is developing very fast all over the world. The main goals of all automakers is to reduce fuel consumption of the car without losing its power. Not every automaker can find a middle ground between fuel consumption and price.

## ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУЧКОВ ТРУБ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НА ПОТОК НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

Хайбуллина А.И., Чирухин К.В.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

E-mail: [haybullina.87@mail.ru](mailto:haybullina.87@mail.ru)

**Аннотация.** В работе приведена методика определения теплогидравлической эффективности  $\eta$  пучков труб при пульсирующем потоке теплоносителя. По данным численного моделирования исследовано влияние числа Рейнольдса  $Re$  безразмерной амплитуды пульсаций  $\beta$  и числа

Струхалю  $Sh$  на теплогидравлическую эффективность  $\eta$  коридорного пучка труб. Найдены, оптимальные режимы пульсаций соответствующие максимальной  $\eta$ .

На сегодняшний день имеются множество работ посвященных исследованию теплообмена и гидродинамики в пучках труб с целью повышения эффективности теплообменного оборудования [1–9].

Для оценки эффективности методов интенсификации при стационарных течениях используется коэффициент теплогидравлической эффективности Кирпичева [6]

$$E = q / N, \quad (1)$$

где  $q$  – удельный теплосъем, Вт/м<sup>2</sup>;  $N$  – удельная мощность прокачки теплоносителя, Вт/м<sup>2</sup>

$$N = \Delta p \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^3}{2}, \quad (2)$$

Здесь  $\Delta p$  – перепад давления в пучке труб, Па;  $v$  – средняя скорость жидкости в пучке, м/с;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления.

Мощность на прокачку теплоносителя в пучке труб при пульсирующем течении осредняется за период пульсации  $T_p$ , с

$$N_p = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \Delta p_{p(t)} v_{p(t)} dt. \quad (3)$$

где  $\Delta p_{p(t)}$  – мгновенные значения перепада давления при пульсирующем потоке в пучке труб, Па;  $v_{p(t)}$  – мгновенные значения скорости при пульсирующем потоке, м/с;  $t$  – время, с.

Эффективность метода интенсификации также можно оценить с помощью удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии  $Re_p = Re_{st}$  (фактор аналогии Рейнольдсов (ФАР)) [1] в форме

$$\eta = E_p / E_{st} = (Nu_p / Nu_{st}) / (\xi_p / \xi_{st}), \quad (4)$$

где  $Re_{st}$ ,  $E_{st}$ ,  $Nu_{st}$ ,  $\xi_{st}$  – числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и гидравлическое сопротивление в канале со стационарным течением,  $Re_p$ ,  $E_p$ ,  $Nu_p$ ,  $\xi_p$  – среднее за период пульсаций числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и эквивалентное гидравлическое сопротивление в канале при пульсирующем течении.

Рейнольдса для стационарного  $Re_{st}$  и пульсирующего течения рассчитывается следующим образом  $Re_p$ :

$$Re_{st} = \frac{v_{st} D}{\nu}; \quad (5) \quad Re_p = \frac{v_p D}{\nu}, \quad (6)$$

где  $D$  – диаметр трубки пучка, м;  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $m^2/s$ ;  $v_{st}$  – средняя скорость потока при стационарном течении по самому узкому сечению в пучке, м/с;  $v_p$  – скорость при пульсирующем течении осреднялась за период пульсации  $T_p$

$$v_p = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} v_p(t) dt. \quad (7)$$

Для стационарного течения в пучке труб коэффициент гидравлического сопротивления определялся следующим образом

$$\xi_{st} = \frac{\Delta p_{st} \cdot 2}{\rho v_{st}^3}. \quad (8)$$

где  $v_{st}$  – средняя скорость потока при стационарном течении, м/с.

Для пульсирующего потока эквивалентный коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi_p$  (коэффициент гидравлического сопротивления канала с эквивалентными затратами энергии (мощности) на прокачку теплоносителя с наложением пульсаций) определялся следующим образом

$$\xi_p = \frac{N_p \cdot 2}{\rho v_p^3}, \quad (9)$$

Согласно авторам [7,8] более рационально с практической точки зрения оценивать эффективность методов интенсификации теплообмена по значению теплосъема с единицы поверхности при равных удельных мощностях, затрачиваемых на преодоление гидравлических потерь  $N_{st} = N_p$

$$E_N = \frac{E_p}{E_{st}} \Big|_{N_{st}=N_p} = \frac{Nu_{st}}{Nu_p} \Big|_{N_{ст}=N_p} = \frac{Nu_p / Nu_{st}}{(\xi_p / \xi_{st})^m} \Big|_{Re_{st}}. \quad (10)$$

где  $m$  – показатель степени при числе  $Re$  в критериальном уравнении для расчета теплоотдачи при пульсирующем течении (уравнение (12)). Таким образом, выражения для коэффициента эффективности при равных удельных мощностях  $E_N$ , будет рассчитываться следующим образом

$$E_N = \frac{Nu_p / Nu_{st}}{(\xi_p / \xi_{st})^m} \quad (11)$$

Теплоотдача в коридорном пучке труб при пульсирующем течении может быть найдена по следующей зависимости [9]

$$Nu_p = 3,05 \cdot Re_{st}^{0,42} \cdot (\beta Sh)^{0,2}. \quad (12)$$

где число Струхала  $Sh = \frac{fD}{v_{st}}$ ,

где частота пульсаций  $f = \frac{1}{T_p}$ , Hz;  $T_p = T_1 + T_2$ , с,

где  $T_p$  – период пульсации, который состоит из суммы двух полупериодов  $T_1$  – полупериода подачи импульса в межтрубное пространство пучка труб,  $T_1 = 0,5$  (const) и  $T_2$  – полупериода сброса давления,  $T_2$  – задается в зависимости от  $f$ . Безразмерная амплитуда пульсаций  $\beta = A/D$ , здесь  $A$  обратный ход жидкости в пучке труб, м.

Уравнение (12) справедливо для следующих условий  $100 \leq Re \leq 1000$ ,  $0,026 \leq (\beta Sh) \leq 2,6$ ,  $2,6 \leq Re(\beta Sh) \leq 260$ ,  $1,25 \leq \beta \leq 4,5$ , при относительном продольным и поперечным шаге трубок в пучке  $s_1/D = 1,3$ ,  $s_2/D = 1,3$  и  $Pr \approx 5,5$ . Коэффициент детерминации составляет ( $R^2 = 0,84$ ).

Приведены показатели удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии  $Re_p = Re_{st}$   $\eta$  и коэффициента эффективности при равных удельных мощностях, затрачиваемых на прокачку теплоносителя  $E_N$  для внешнего теплообмена в коридорном пучке при пульсирующих течениях.

### Список литературы

1. Wu-Shung Fu, Tong Bao-Hong. Numerical investigation of heat transfer from a heated oscillating cylinder in a cross flow // International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 3033–3043.
2. Guoneng Li, Youqu Zheng, Guilin Hu, Zhiguo Zhang, Yousheng Xu. Experimental Study of the Heat Transfer Enhancement from a Circular Cylinder in Laminar Pulsating Cross-flows // Heat Transfer Engineering, 37(6), 2016, 535–544 p.
3. Neelesh B., Amit K. Pulsating flow and heat transfer analysis around a heated semi-circular cylinder at low and moderate Reynolds numbers // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering Mar 2017 Vol. 54 40430-017-0749-1 p.
4. Khaibullina A.I., Khairullin A.R., Sinyavin A.A., Ilin V.K. Heat transfer at in-line tube bank under low-frequency asymmetrical impulses impact on fluid flow // European physical journal. 2014. № 76. 01004-p.1-01004-p.3.
5. Khaibullina AI, Ilyin VK. Experimental investigation of external heat transfer from tube bundle under condition of low-frequency asymmetrical impulses of fluid cross-flow with reynolds numbers  $\leq 500$  // Energy Problems. 2014, No. 1-2, 11–19 p.

6. I.A. Popov, H.M. Mahyanov. Physical basics and manufacture use of heat transfer intensification. Heat transfer intensification: monograph / und. comm. red. of Gortishev Yu.F. Kazan: Center of innovative technologies. 2009. 560 p.

7. Migai V.K. Modeling of heat-exchange power equipment. L.: Energoatomizdat, 1987, 264 p.

8. Nazmeev Yu.G., Konakhina I.A. Organization of energy technology complexes in the petrochemical industry. M.: Publishing house MPEI, 2001, 364 p.

9. 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.

## **THERMOHYDRAULIC EFFICIENCY OF THE TUBE BUNDLES WHEN APPLIED TO THE LOW FREQUENCY FLOW PULSATIONS**

Haibullina A. I., Chirukhin K. V.

Kazan State Power Engineering University, Kazan

E-mail: [haybullina.87@mail.ru](mailto:haybullina.87@mail.ru)

**Abstract.** The method of determining the thermal and hydraulic efficiency  $\eta$  of tube bundles with a pulsating flow is given in the paper. Based on numerical simulation, the effect of the Reynolds number  $Re$  of the dimensionless pulsation amplitude  $\beta$  and the Strouhal number  $Sh$  on the thermal and hydraulic efficiency  $\eta$  of the corridor bundle of tubes was investigated. The optimum pulsation regimes corresponding to the maximum  $\eta$  are found.

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 39. Хайбуллина А.И., Чирухин К.В. Теплогидравлическая эффективность пучков труб при наложении на поток низкочастотных пульсаций.....                                                                   | 164 |
| 40. Ермаков А.М., Абросимова А.В. Разработка конструкции автомобильного термоэлектрического генератора для грузовых автомобилей и автобусов .....                                                      | 170 |
| 41. Ермолаева К.Н. Внедрение технологии ультрафильтрации и обратного осмоса на ВПУ ООО «Нижекамская ТЭЦ».....                                                                                          | 174 |
| 42. Файзуллина Н.Р., Низамов М.С., Бударова О.П. Оптимизация блока подготовки воздуха по результатам дорожных испытаний магистрального автомобиля .....                                                | 184 |
| 43. Фахруллин И. Р. Процессы в автомобиле и снижение расходования энергии и топлива в низкотемпературных условиях.....                                                                                 | 187 |
| 44. Фаухутднова Г.И., Персов Р.А. Модификация СКИ-3 производными изоцианата.....                                                                                                                       | 192 |
| 45. Фазлыев И. В. Ветроэнергетика как основа энергосбережения.....                                                                                                                                     | 195 |
| 46. Фазуллин Д.Д., Калимуллин Р.И., Маврин Г.В. Утилизация куриного помета методом низкотемпературного пиролиза для добавления в состав гидрогелей.....                                                | 199 |
| 47. Габдрахманов А.Т., Галиакбаров А.Т., Фадеев А.Г. Энергоэффективный способ получения водорода.....                                                                                                  | 203 |
| 48. Гарифуллина М.А., Хафизов А.А. Проблемы энергосбережения в муниципальных образованиях.....                                                                                                         | 207 |
| 49. Гарипов Р.И., Мухаметдинов Э.М. Энергетические потери в сцеплении при расцентровке ведущих дисков.....                                                                                             | 212 |
| 50. Голенищев-Кутузов А. В., Иванов Д. А., Марданов Г. Д., Семенников А. В., Аввакумов М. В. Аппаратно-программный комплекс и метод дистанционного контроля высоковольтных изоляционных элементов..... | 216 |